

Scansys、Pentacam、CASIA 和 Arcscan 测量近视眼 ICL 植入术后拱高比较

张波 王浩 庞辰久 杜文文 孙早荷 李金 顾宇伟 王树林 范棋

河南省人民医院 河南省立眼科医院 郑州大学人民医院 河南大学人民医院, 郑州 450003

通信作者: 庞辰久, Email: pangcj999@163.com

【摘要】 目的 评估国产三维眼前节分析系统 Scansys、Pentacam 三维眼前节全景分析仪、频域眼前节光学相干断层扫描仪 (CASIA SS-1000) 和新型超高频数字超声扫描系统 (Arcscan Insight100) 测量近视眼有晶状体眼后房型人工晶状体 (ICL) 植入术后中央拱高的差异及一致性。**方法** 采用诊断试验研究方法, 纳入 2019 年 6—12 月于河南省人民医院眼科行 ICL V4c 植入术的近视患者 56 例 56 眼, 术后同时应用 Scansys、Pentacam、CASIA 和 Arcscan 测量中央拱高。比较 4 种仪器拱高测量值的差异; 4 种仪器拱高测量值的相关性采用 Pearson 相关性分析, 一致性比较采用 Bland-Altman 法分析。**结果** Scansys、Pentacam、CASIA 和 Arcscan 拱高测量值分别为 (481.8±191.6)、(476.4±190.6)、(619.3±207.5) 和 (534.0±221.2) μm , 总体比较差异有统计学意义 ($F=143.301, P<0.001$), 其中 Scansys 和 Pentacam 拱高测量值明显低于 CASIA 和 Arcscan, Arcscan 拱高测量值低于 CASIA, 差异均有统计学意义 (均 $P<0.001$)。Arcscan-CASIA、Arcscan-Pentacam、Arcscan-Scansys、CASIA-Pentacam、CASIA-Scansys、Pentacam-Scansys 拱高测量值均呈强正相关 ($r=0.982、0.933、0.931、0.942、0.941、0.989$, 均 $P<0.001$)。Scansys、Pentacam、CASIA 和 Arcscan 拱高测量值组内相关系数分别为 0.985、0.975、0.998、0.992; CASIA 和 Arcscan、CASIA 和 Scansys、CASIA 和 Pentacam、Arcscan 和 Scansys、Arcscan 和 Pentacam 拱高测量值差值 95% 一致性界限分别为 -170~0、0~280、0~280、-110~210、-100~220 μm , 差值的绝对值最大值超出临床的可接受范围, 一致性欠佳; Scansys 和 Pentacam 拱高测量值差值 95% 一致性界限为 -60~50 μm , 一致性良好。**结论** 4 种仪器测量近视眼 ICL V4c 植入术后拱高重复性均良好, 其中, Scansys 和 Pentacam 的拱高测量值偏小, 两者一致性良好, 结果可以互相替代; 而 CASIA 拱高测量值最大, 其次为 Arcscan, 彼此差异较大, 测量结果不能相互替代, 在临床工作中应结合实际情况综合分析。

【关键词】 近视; 有晶状体眼人工晶状体; 拱高; 生物测量; 超声, 数字式, 超高频; 光学相干成像, 前节, 频域; 三维眼前节全景分析仪; 一致性

基金项目: 河南省科技厅科技攻关联合基金 (232103810052)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20221023-00492

Comparison of vault measurements by Scansys, Pentacam, CASIA and Arcscan after ICL implantation

Zhang Bo, Wang Hao, Pang Chenjiu, Du Wenwen, Sun Zaohe, Li Jin, Gu Yuwei, Wang Shulin, Fan Qi

Henan Provincial People's Hospital, Henan Eye Hospital, People's Hospital of Zhengzhou University, People's Hospital of Henan University, Zhengzhou 450003, China

Corresponding author: Pang Chenjiu, Email: pangcj999@163.com

[Abstract] Objective To evaluate the consistency of the Chinese three-dimensional anterior visual field analysis system (Scansys), the anterior segment analyzer (Pentacam), the frequency-domain anterior segment optical coherence tomography system (CASIA SS-1000), and a new ultra-high frequency digital ultrasound scanning system (Arcscan Insight100) to measure central vault after implantable collamer lens (ICL) implantation in myopic eyes with crystalline lenses. **Methods** A diagnostic test study was conducted. Fifty-six myopic patients (56 eyes) who underwent ICL V4c implantation from June to December 2019 were included. Scansys, Pentacam, CASIA and Arcscan were used to measure the central vault after surgery. The vault measurements were compared. Correlations between the measurements of the four instruments were analyzed using Pearson correlation analysis, and consistency comparisons were analyzed using the Bland-Altman method. This study adhered to the Declaration of Helsinki. The study protocol was approved by the Ethics Committee of Henan Eye Hospital (No. HNEECKY-2021[13]). Written informed consent

was obtained from each subject. **Results** The central vault measurements by Scansys, Pentacam, CASIA and Arcscan were (481.8 ± 191.6), (476.4 ± 190.6), (619.3 ± 207.5) and (534.0 ± 221.2) μm , respectively, with a statistically significant overall difference ($F = 143.301, P < 0.001$). The vault measurements by Scansys and Pentacam were significantly lower than CASIA and Arcscan, and Arcscan was lower than CASIA, with statistically significant differences (all at $P < 0.001$). There were strong positive correlations in vault measurements between Arcscan and CASIA, Arcscan and Pentacam, Arcscan and Scansys, CASIA and Pentacam, CASIA and Scansys, Pentacam and Scansys ($r = 0.982, 0.933, 0.931, 0.942, 0.941, 0.989$; all at $P < 0.001$). Intraclass correlation coefficients of vault measurements by Scansys, Pentacam, CASIA and Arcscan were 0.985, 0.975, 0.998, 0.992, respectively. The 95% limits of agreement of vault measurements differences were -170 to 0 , 0 to 280 , 0 to 280 , -110 to 210 , -100 to 220 μm , between CASIA and Arcscan, CASIA and Scansys, CASIA and Pentacam, Arcscan and Scansys, Arcscan and Pentacam, respectively, and the maximum absolute value of the difference was beyond the clinically acceptable range, showing poor agreement. The 95% limits of agreement of vault measurement difference was -60 to 50 μm between Scansys and Pentacam, showing a good agreement. **Conclusions** The repeatability of the vault after ICL V4c implantation in myopic eyes measured by the four instruments is good. Among them, the vault measurements of Scansys and Pentacam are smaller, showing good consistency, and their results could be substituted for each other. The measurement of CASIA is the largest, followed by Arcscan, which have a large difference from each other, and their results can not be substituted for each other, which should be comprehensively analyzed with the actual situation in clinical work.

[Key words] Myopia; Implantable collamer lens; Vault; Bio-measurement; Ultrasonic, digital, UHF; Optical coherence tomography, anterior segment, frequency domain; Three-dimensional anterior segment panoramic analyzer; Agreement

Fund program: Department of Henan Science and Technology United Fund (232103810052)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20221023-00492

有晶状体眼后房型人工晶状体 (implantable collamer lens, ICL) 植入术具有矫正范围广、安全、稳定、可逆等优势^[1-4], 目前不仅用于高度近视、超高度近视矫正, 而且逐渐应用于低中度近视矫正。ICL 植入术后眼前节形态, 如前房深度 (anterior chamber depth, ACD)、前房角、ICL 位置等是评估 ICL 稳定性及安全性的指标, 其中拱高 (即 ICL 后表面与透明晶状体前表面间距) 是临床关注的焦点之一, 也是术后决定是否需要调换 ICL 的重要依据。目前, 眼科临床常用的综合检查测量眼前节结构的仪器有 Scheimpflug 相机原理成像的三维眼前节全景分析仪 (如 Pentacam)、眼前节光学相干断层扫描 (anterior segment optical coherence tomography, AS-OCT) 和超声生物显微镜 (ultrasound biomicroscope, UBM), 应用中各有优点和局限性。近期出现的新型超高频数字超声扫描系统 (Arcscan Insight100) 通过对眼球进行弧形全自动扫描, 快速生成特定子午线上的眼前节影像图, 可对眼前节的综合解剖结构进行探查和精确测量, 而且无需表面麻醉及卧位, 眼部不用放置浴杯, 受检查者操作主观因素影响小。目前, Arcscan Insight100 应用于 ICL 植入术后眼前节结构的观察及与其他仪器同时测量对比的相关研究报道国内外尚缺乏。本研究旨在对

比 Scheimpflug 相机原理成像的三维眼前节分析系统 Scansys、Pentacam HR、频域 AS-OCT 和 Arcscan Insight100 测量近视眼 ICL V4c 植入手术后中央拱高的差异及一致性, 以期为临床应用提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用诊断试验研究方法, 连续纳入 2019 年 6—12 月在河南省人民医院眼科接受 ICL V4c (瑞士 STAAR 公司) 植入术且术后复查资料完整的近视患者 56 例 56 眼, 其中男 13 例 13 眼, 女 43 例 43 眼; 年龄 19~37 岁, 平均 (26.3 ± 4.6) 岁; 术前球镜度为 $-4.00 \sim -18.00$ D, 平均 (-10.00 ± 2.65) D; 柱镜度为 $0.00 \sim -3.25$ D, 平均 (-1.00 ± 1.04) D; 术前最佳矫正视力 (best corrected visual acuity, BCVA) (LogMAR 视力) 为 $0.000 \sim 0.222$, 平均 0.058 ± 0.060 。纳入标准: (1) 年龄 18~45 岁; (2) 屈光度连续 2 年每年变化 ≤ 0.50 D; (3) 中央 ACD ≥ 2.8 mm; (4) 中央角膜内皮细胞密度 $\geq 2000/\text{mm}^2$; (5) 有手术矫治意愿、能耐受手术并对手术矫正结果表示理解者。排除标准: (1) 术前检查发现有 ICL 手术绝对禁忌证^[5]; (2) 患有其他影响眼部的系统性疾病者; (3) 女性患者处于妊娠期或哺乳期;

(4)有内眼手术史者。本研究遵循《赫尔辛基宣言》，研究方案经河南省立眼科医院伦理委员会批准[批文号:HNEECKY-2021(13)],所有受试者术前均对手术及手术相关检查知情并签署同意书。

1.2 方法

1.2.1 ICL 植入手术

使用 ICL 在线计算公式(瑞士 STAAR 公司),输入每眼屈光度、角膜曲率、ACD 及白到白距离,软件自动计算所需 ICL 的度数及长度(其长度分为 12.1、12.6、13.2 和 13.7 mm 4 种类型)。术前 1 h,采用 2.5%复方托吡卡胺滴眼液充分扩瞳,植入散光型 ICL(Toric ICL, TICL)者,术前取坐位,于裂隙灯显微镜前嘱其平视,以记号笔标记 3:00 和 9:00 角膜边缘的 0°水平轴线;表面麻醉下做宽 3.0 mm 颞侧透明角膜切口,由同一经验丰富的高年资医师按照国际标准程序完成晶状体植入手术,其中植入 ICL 者 32 眼,均水平植入;植入 TICL 者 24 眼,植入后调位至预定轴向;ICL V4c 直径 12.10 ~ 13.20 mm,平均(12.61±0.34)mm。

1.2.2 拱高及瞳孔直径测量

所有患者于 ICL V4c 植入术后 1 个月随访时采用 4 种仪器检查术眼,均选取右眼,在同一暗室内依次完成,每种仪器均连续检查 3 次,记录中央拱高(水平轴线 ICL 中央后表面至自身晶状体前囊之间的垂直距离)及瞳孔直径(两侧瞳孔缘间距),取平均值。所有检查操作、图像采集均由同一位经验丰富的医师完成。

1.2.2.1 Scansys 三维眼前节分析系统检查

采用 Scansys 三维眼前节分析系统(上海美沃精密仪器股份有限公司),患者下颌置于下颌托,前额紧贴额托,调整位置至患者外眦与水平标线齐平,嘱患者睁大双眼,受检眼注视仪器旋转轴中心蓝色光带中央的小圆孔,选择 2D 扫描模式水平轴位,检查者调整操纵杆至影像和对焦符合摄像条件时,嘱患者保持注视,仪器自动拍摄,获得单幅 Scheimpflug 图像,进行拱高和瞳孔直径测量(图 1)。

1.2.2.2 Pentacam HR 三维眼前节全景分析仪检查

采用 Pentacam HR 三维眼前节全景分析仪(德国 Oculus 公司),操作类似 1.2.2.1,受检眼注视仪器旋转轴中心蓝色光带中央红色圆形目标,选择高扫描模式,检查者调整操纵杆至影像和对焦符合摄像条件时,仪器自动拍摄,0.1 s 获得 5 幅 Scheimpflug 图像,选取 1 幅进行拱高和瞳孔直径测量(图 2)。

1.2.2.3 频域 AS-OCT(CASIA SS-1000)检查

采用 CASIA SS-1000(日本 Tomey 公司),操作同 1.2.2.1,选择眼前节测量模式,受检眼注视仪器检查窗内中心

黄色点状目标,检查者触控操作屏幕或操纵杆对准瞳孔中心,仪器自动对焦完成全周扫描,选取水平位图像进行拱高和瞳孔直径测量(图 3)。

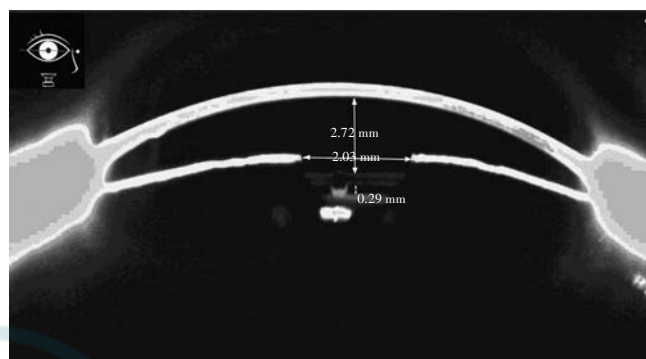


图 1 ICL V4c 植入术后 Scansys 检查测量图像(水平位) 显示 ACD 为 2.72 mm,瞳孔直径为 2.03 mm,中央拱高为 0.29 mm

Figure 1 Scansys measurement image (horizontal) of an eye after ICL V4c implantation An ACD of 2.72 mm, a pupil diameter of 2.03 mm, and a central vault of 0.29 mm were displayed

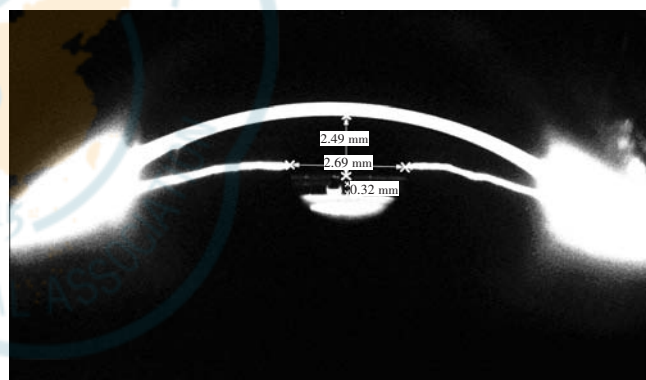


图 2 同一眼 ICL V4c 植入术后 Pentacam HR 检查测量图像(水平位) 显示 ACD 为 2.49 mm,瞳孔直径为 2.69 mm,中央拱高为 0.32 mm

Figure 2 Pentacam HR measurement image (horizontal) after ICL V4c implantation in the same eye An ACD of 2.49 mm, a pupil diameter of 2.69 mm, and a central vault of 0.32 mm were displayed

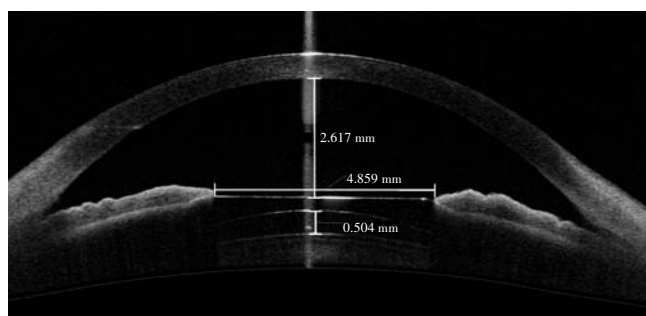


图 3 同一眼 ICL V4c 植入术后 CASIA SS-1000 检查测量图像(水平位) 显示 ACD 为 2.617 mm,瞳孔直径为 4.859 mm,中央拱高为 0.504 mm

Figure 3 CASIA SS-1000 measurement image (horizontal) after ICL V4c implantation in the same eye An ACD of 2.617 mm, a pupil diameter of 4.859 mm, and a central vault of 0.504 mm were displayed

1. 2. 2. 4 Arcscan Insight100 检查 采用 Arcscan Insight100(美国 ArcScan 公司),患者取坐位,下颌置于下颌托上,受检眼周紧贴仪器检查窗软边达到水密,当瞳孔位于扫描图像中央时,嘱其闭眼,向检查窗隔室里注满无菌生理盐水后,眼睑尽量自然睁开至最大,检查医师选择 ICL 术后模式扫描获得全周 5 条轴线图像,全自动扫描频率为 50 MHz,半径为 10~20 mm,角度为 45~70°,轴向和横向分辨率分别为 35 和 65 μm 。每眼 3D 扫描时间为 2~3 min,选取水平位图像进行拱高和瞳孔直径测量,同时观察并测量周边部 ICL 后面与透明晶状体的距离(图 4)。

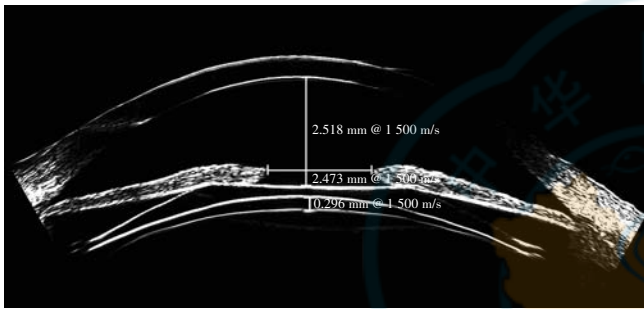


图 4 同一眼 ICL V4c 植入术后 Arcscan Insight100 检查测量图像(水平位)显示 ACD 为 2.518 mm,瞳孔直径为 2.473 mm,中央拱高为 0.296 mm

Figure 4 Arcscan Insight100 measurement image (horizontal) after ICL V4c implantation in the same eye An ACD of 2.518 mm, a pupil diameter of 2.473 mm, and a central vault of 0.296 mm were displayed

1. 2. 3 评估指标 术前及术后 1 个月,记录 4 种仪器拱高及瞳孔直径测量结果、等效球镜度及视力;记录术后并发症发生情况。

1. 3 统计学方法

采用 SPSS 22.0 和 MedCalc 15.1 统计学软件进行统计分析。计量资料数据经 Kolmogorov-Smirnov 检验证实符合正态分布,以 $\bar{x} \pm s$ 表示。4 种仪器拱高和瞳孔直径测量值总体比较采用重复测量单因素方差分析,两两比较采用 Bonferroni 法。重复性分析采用组内相关系数(intraclass correlation coefficients, ICC);4 种仪器测量结果间的一致性采用 Bland-Altman 法分析,相关性采用 Pearson 相关性分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 术后并发症、等效球镜度及视力情况

术后随访期内所有术眼均未发生青光眼、白内障、瞳孔移位、角膜持续水肿、ICL 偏位等严重并发症;术

后等效球镜度与预期值差别超过 $\pm 1.00 \text{ D}$ 者 4 眼(占 7.1%);在 $\pm 1.00 \text{ D}$ 以内者 52 眼(占 92.9%),其中在 $\pm 0.50 \text{ D}$ 以内者 44 眼(占 78.6%)。术后裸眼视力均达到或超过术前 BCVA,其中超过术前 BCVA 1 行者 23 眼(占 41.1%),超过术前 BCVA 2 行及以上者 14 眼(占 25.0%)。

2.2 4 种仪器拱高及瞳孔直径测量值比较及拱高测量值相关性分析

4 种仪器拱高和瞳孔直径测量值总体比较差异均有统计学意义($F = 143.301, 290.910$, 均 $P < 0.001$),其中 Scansys 和 Pentacam 拱高和瞳孔直径测量值明显低于 CASIA 和 Arcscan, CASIA 拱高和瞳孔直径测量值高于 Arcscan, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.001$) (表 1)。

表 1 4 种仪器拱高和瞳孔直径测量值比较($\bar{x} \pm s$)
Table 1 Comparison of vault and pupil diameter measurements among four instruments ($\bar{x} \pm s$)

仪器	眼数	拱高(μm)	瞳孔直径(mm)
Scansys	56	481.8 \pm 191.6	2.89 \pm 0.41
Pentacam	56	476.4 \pm 190.6	2.92 \pm 0.52
CASIA	56	619.3 \pm 207.5 ^{ab}	5.40 \pm 0.86 ^{ab}
Arcscan	56	534.0 \pm 221.2 ^{abc}	3.71 \pm 0.74 ^{abc}
F 值		143.301	290.910
P 值		<0.001	<0.001

注:与 Scansys 比较,^a $P < 0.001$;与 Pentacam 比较,^b $P < 0.001$;与 CASIA 比较,^c $P < 0.001$ (重复测量单因素方差分析, Bonferroni 法)

Note: Compared with Scansys, ^a $P < 0.001$; compared with Pentacam, ^b $P < 0.001$; compared with CASIA, ^c $P < 0.001$ (One-way repeated measures ANOVA, Bonferroni method)

相关性分析显示, Arcscan-CASIA、Arcscan-Pentacam、Arcscan-Scansys、CASIA-Pentacam、CASIA-Scansys、Pentacam-Scansys 拱高测量值均呈强正相关($r = 0.982, 0.933, 0.931, 0.942, 0.941, 0.989$, 均 $P < 0.001$) (图 5)。

2.3 4 种仪器拱高测量值的重复性和一致性

Scansys、Pentacam、CASIA 和 Arcscan 拱高测量值 ICC 分别为 0.985、0.975、0.998、0.992, 重复性良好。Bland-Altman 分析显示, Arcscan-CASIA、Arcscan-Pentacam、Arcscan-Scansys、CASIA-Pentacam、CASIA-Scansys 拱高测量值分别有 3.6%(2/56)、3.6%(2/56)、3.6%(2/56)、3.6%(2/56)、5.4%(3/56)的点位于 95% 一致性界限之外,拱高测量值差值 95% 一致性界限分别为 -170~0、0~280、0~280、-110~210、-100~220 μm , 差值的绝对值最大值超出临床的可接受范

围,认为 Arcscan-CASIA 及 Arcscan、CASIA 与 Pentacam/Scansys 拱高测量值之间一致性欠佳;Pentacam-Scansys 拱高测量值有 1.8% (1/56) 的点位于 95% 一致性界限外,拱高测量值差值 95% 一致性界限为 -60 ~ 50 μm, 95% 一致性界限较窄,一致性良好,结果可以互相替代 (图 6)。

2.4 ICL 周边与透明晶状体间距

Arcscan 测量结果显示,56 眼水平图像 ICL 周边与透明晶状体鼻侧间距为 70 ~ 220 μm,平均 (153.1 ± 74.0) μm;颞侧为 59 ~ 209 μm,平均 (149.8 ± 67.3) μm。

3 讨论

相对于各种角膜屈光手术,ICL 植入术扩大了屈光不正手术矫正的范围,规避了术后角膜并发症的风险,其安全性、可预测性和有效性已得到认可^[1-4]。植入的 ICL 位于虹膜和晶状体之间,其后表面与透明晶状体前表面之间的间隙即为拱高,临床经验认为术后理想的中央拱高为 250 ~ 750 μm^[6],保证 ICL 既不接触透明晶状体前囊引起晶状体混浊,也不向前过度推挤虹膜导致前房角变窄和眼压升高,这是衡量 ICL 植入手术安全性的重要指标之一,也是判断是否需要调换 ICL 的重要依据。但拱高不仅受 ICL 长度影响,而且与年龄、术眼 ACD 及瞳孔大小等多种因素有关^[7-10],例如受光线影响瞳孔缩小时,拱高减小^[11],而且拱高有随着术后时间推移逐渐降低的趋势^[12-14],因此在患者术后随访过程中拱高的测量至关重要。

临床上观察 ICL 位置和拱高常用的仪器有 AS-OCT、UBM 和 Pentacam 等眼前节分析仪,不同仪器临床应用各有优缺点,测量结果也不尽相同,临床应用中并未限定使用哪一种。对于不同仪器间拱高测量值的对比研究,国内外文献多有报道,董晶等^[15]发现

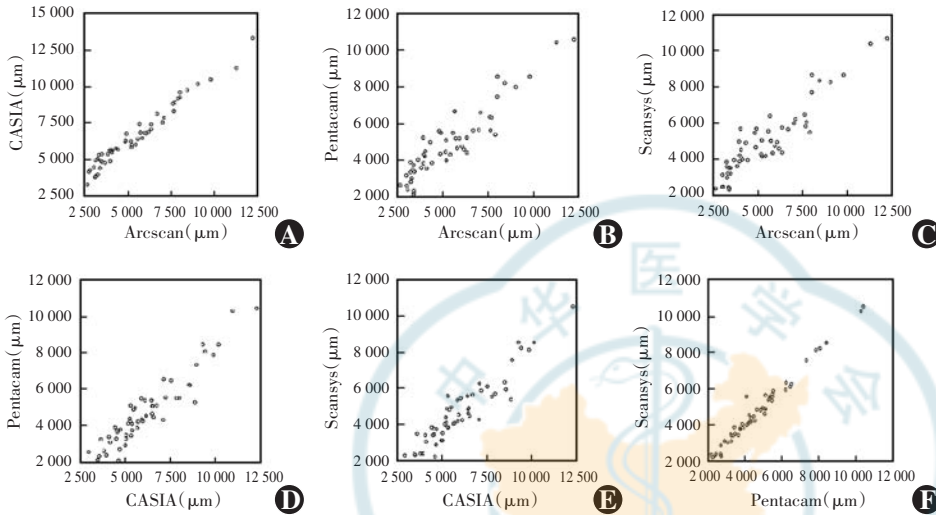


图 5 4 种仪器拱高测量值相关性散点图 (Pearson 相关分析, n = 56) Arcscan-CASIA、Arcscan-Pentacam、Arcscan-Scansys、CASIA-Pentacam、CASIA-Scansys、Pentacam-Scansys 拱高测量值均呈强正相关 (r = 0.982、0.933、0.931、0.942、0.941、0.989, 均 P < 0.001) A: Arcscan-CASIA B: Arcscan-Pentacam C: Arcscan-Scansys D: CASIA-Pentacam E: CASIA-Scansys F: Pentacam-Scansys

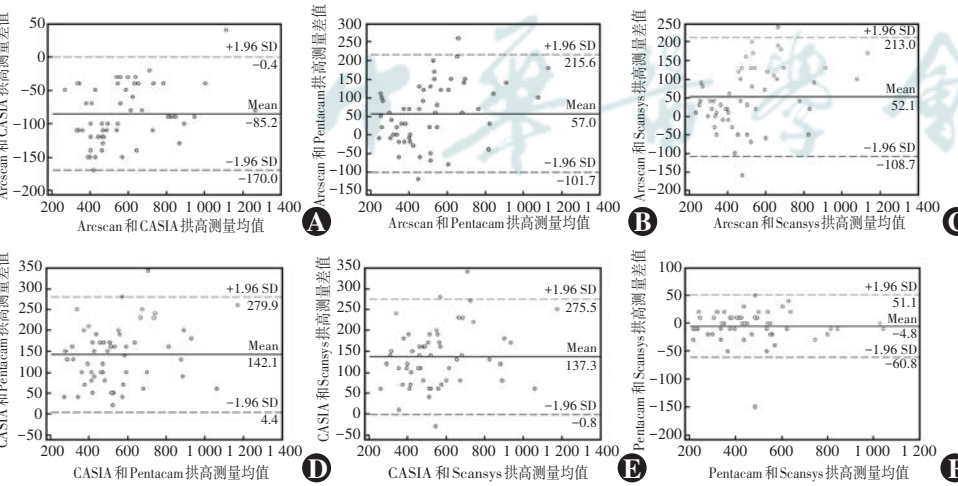


图 6 4 种仪器拱高测量值的 Bland-Altman 一致性检验散点图 (n = 56) A: Arcscan-CASIA B: Arcscan-Pentacam C: Arcscan-Scansys D: CASIA-Pentacam E: CASIA-Scansys F: Pentacam-Scansys 实线代表差值的均值,虚线代表 95% 一致性界限

Pentacam 拱高测量值比 AS-OCT 低 (182.4 ± 65.3) μm ; 薛艳珍等^[16]发现 UBM 拱高测量值较 AS-OCT 稍高; 而 Wan 等^[17]发现 AS-OCT 拱高测量值大于 UBM 和 Pentacam, Pentacam 测量值小于 UBM, 其结果不可互相替代; 但是尚未见报道包含 Arcscan Insight100 在内的 4 种不同仪器间测量结果的对比。本研究中 Scansys 和 Pentacam HR 都是利用旋转 Scheimpflug 相机原理成像, 光源波长 475 nm, 2 s 完成 25 次扫描, 测量并分析 25 000 个点, 得到眼前节三维彩色图像, 无接触检查, 简便快捷, 可在术后任何时间为患者检查, 但不能显示虹膜后方及 ICL 周边情况。在应用中发现, 未扩瞳状态下 Pentacam 及 Scansys 对于 ICL 前后表面及晶状体前囊界限显示不如 AS-OCT 清晰, 尤其对于一些拱高过低的病例 (低于 200 μm), 测量准确度不如 AS-OCT; CASIA SS-1000 以波长 1 310 nm 的近红外光作为相干光源在 0.125 s 内对眼前节进行 360° 扫描成像, 具有非接触、操作简便快捷、分辨率高、可活体动态观察并精确测量眼前节结构等优点, 受检者配合较容易。在应用中发现对于瞳孔区 ICL 前后表面及晶状体前囊显示清晰, 拱高测量精确度达 5 μm , 对于过低的拱高, 显示同样清晰, 但受虹膜阻挡也不能显示虹膜后方结构、ICL 周边尤其是 4 个祥的位置; 最近应用于眼科临床的 Arcscan Insight100 利用 20~60 MHz 的超声对眼球进行弧形全自动扫描, 快速生成各子午线上的眼前节影像图, 可对眼前节的综合解剖结构进行探查和测量, 单点精度最高可达 0.8 μm , 能清晰显示 ICL 在虹膜后的位置及各个祥脚与周围组织的关系^[18], 对于过低的拱高, 也能精确测量。除了测量 ICL V4c 植入术后中央拱高, 还可测量周边部 ICL 与透明晶状体之间的距离, 本研究发现 ICL 与透明晶状体之间保持了一定的距离。相比于 UBM, Arcscan 取坐位检查, 无需表面麻醉及放置浴杯, 全自动扫描过程受检查者操作主观因素影响小; 缺点是因不放置眼杯, 受检查患者睑裂大小影响明显, 垂直位成像受眼睑遮挡, 不能充分显示, 需要配合专用开睑器, 而且由于仍为接触式检查, 术后早期应用存在感染的风险, 临床应用中不如前三者无接触式操作方便, 不能在术后任意时间进行检查。

本研究中 Scansys、Pentacam、CASIA 和 Arcscan 测量拱高重复性均佳, 其中, CASIA 所得值最大, 其次为 Arcscan、Scansys 和 Pentacam。Scansys 和 Pentacam 测量拱高一致性好, CASIA 和 Arcscan 及 CASIA、Arcscan 与 Scansys/Pentacam 之间一致性欠佳。

不同仪器间拱高测量值差异的原因尚无定论, 可

能导致差异的原因: (1) 不同仪器成像原理、测量时间、测量分辨率不同, 测量结果存在差异。Scansys 和 Pentacam HR 成像原理相同, 光源属于可见光; CASIA SS-1000 检查时间短且光源为非可见光; Arcscan Insight100 利用超声成像, 可快速生成各子午线上的眼前节影像。(2) 由于 ICL 的材质和与透明晶状体之间存在的房水成分, 不同仪器检查光源及成像原理不同, 用于分析测量的图像捕捉机制也不同, 可能影响测量值^[17]。(3) 不同仪器检查时亮度不同以及要求的眼球注视位置不同, 扫描光源亮度和眼球调节不同, 引起瞳孔的变化从而影响拱高测量值^[15-17], 亮光下瞳孔缩小 (例如 Scansys 和 Pentacam), 虹膜压迫 ICL 中央, 拱高下降^[19-20]; 反之, 暗光下瞳孔扩大 (如 AS-OCT 和 Arcscan), ICL 中央受力减少, 拱高增大, 此结果与本研究中 4 种仪器测量瞳孔直径大小的结果符合。鉴于有研究表明瞳孔大小对 ICL 术后拱高有影响, 本研究中 4 种仪器检查时在同一暗环境检查室同时进行, 保持检查环境亮度一致, 发现 CASIA 测得瞳孔直径最大, 其次是 Arcscan, 而 Pentacam 和 Scansys 较小, 其中 Pentacam 和 Scansys 瞳孔测量值差异无统计学意义, 可能由于 CASIA 和 Arcscan 检查时不使用可见光扫描, 检查过程中瞳孔受扫描光源刺激影响小, 故瞳孔偏大, 而 Pentacam 和 Scansys 测量时均使用可见光扫描成像, 光刺激瞳孔缩小, 影响拱高测量结果, 导致了拱高的差异和动态变化。

本研究仍有一定局限性: (1) 仅对比了目前眼科临床中使用的 4 种不同仪器测量 ICL V4c 植入术后拱高和瞳孔直径的差别; (2) 因目的在于评估不同仪器测量拱高的差异, 以便于眼科临床应用, 对于可能影响术后拱高的诸多其他因素未做深入观察分析, 例如术眼 ACD、睫状沟宽度及形态等, 本课题组将在后续研究中继续探讨; (3) 不同年龄、不同屈光度的眼球结构可能存在差异, 可能影响测量值, 需要进一步扩大样本量进行分层分析; (4) 术后还需要更长时间的随访验证各测量数据的稳定性。

综上所述, Scansys、Pentacam、CASIA 和 Arcscan 均可准确测量 ICL V4c 植入术后的拱高, 重复性佳; 同样应用旋转 Scheimpflug 相机原理成像的国产 Scansys 与 Pentacam 的拱高测量值一致性良好, 结果可以通用, 而两者与 CASIA 和 Arcscan 之间测量值一致性较差, 结果不能相互替代。CASIA 和 Arcscan 拱高测量值偏高, 类似暗光状态下的拱高, 而 Scansys 和 Pentacam 拱高测量值偏低, 可理解为亮光下拱高最大值 (频域 AS-OCT 测量值) 和最小值 (Pentacam 测量值) 之间差别显

著(142.9 μm)。评价术后拱高应依据一个动态的范围,而非单一值,应充分考虑应用的仪器、受检环境,并同时观察术眼前房、房角、虹膜以及自身晶状体的状态并结合实际情况综合分析,临床中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。对于术后拱高偏高的患者,随诊时可多关注 CASIA 的数据,观察 ICL 对房角和角膜内皮细胞的影响;拱高偏低者可关注 Pentacam 或 Scansys 的数据,观察 ICL 对透明晶状体的影响。Arcscan 是 4 种仪器中唯一能同时显示并测量中央及周边拱高的,且能探查术后 ICL 各襻脚是否如期植入睫状沟内,拱高偏低者需要重视 Arcscan 的数据以观察 ICL 周边对透明晶状体的影响。临床上对于术后拱高测量的方法尚无金标准,4 种仪器应用各有优点和缺点,侧重点不同,各医疗机构所具备的仪器不同,应结合实际情况综合分析。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 张波: 酝酿和设计试验、实施研究、采集数据、分析/解释数据、文章撰写;王浩、杜文文、孙早荷、李金、顾宇伟、王树林、范棋: 采集数据、分析/解释数据、对文章知识性内容作批评性审阅;庞辰久: 酝酿和设计试验、指导试验、分析/解释数据、对文章知识性内容作批评性审阅及定稿

参考文献

- [1] Papa-Vettorazzi MR, Güell JL, Cruz-Rodriguez JB, et al. Long-term efficacy and safety profiles after posterior chamber phakic intraocular lens implantation in eyes with more than 10 years of follow-up [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2022, 48(7): 813-818. DOI: 10.1097/j.jers.0000000000000848.
- [2] Choi JH, Lim DH, Nam SW, et al. Ten-year clinical outcomes after implantation of a posterior chamber phakic intraocular lens for myopia [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2019, 45(11): 1555-1561. DOI: 10.1016/j.jers.2019.06.015.
- [3] Qin Q, Wu Z, Bao L, et al. Evaluation of visual quality after EVO-ICL implantation for hypermyopia: an observational study [J/OL]. *Medicine (Baltimore)*, 2019, 98(44): e17677 [2023-10-09]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31689784/>. DOI: 10.1097/MD.00000000000017677.
- [4] Fernández-Vega-Cueto L, Lisa C, Esteve-Taboada JJ, et al. Implantable collamer lens with central hole: 3-year follow-up [J]. *Clin Ophthalmol*, 2018, 12: 2015-2029. DOI: 10.2147/OPTH.S171576.
- [5] 中华医学会眼科学分会眼视光学组. 中国有晶状体眼后房型人工晶状体植入术专家共识(2019年) [J]. *中华眼科杂志*, 2019, 55(9): 652-657. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2019.09.005.
- [6] Kamiya K, Shimizu K, Komatsu M. Factors affecting vaulting after implantable collamer lens implantation [J]. *J Refract Surg*, 2009, 25(3): 259-264. DOI: 10.3928/1081597X-20090301-04.
- [7] Lege BA, Haigis W, Neuhann TF, et al. Age-related behavior of posterior chamber lenses in myopic phakic eyes during accommodation measured by anterior segment partial coherence interferometry [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2006, 32(6): 999-1006. DOI: 10.1016/j.jers.2006.02.018.
- [8] 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 [J/OL]. *BMC Ophthalmol*, 2021, 21(1): 199 [2023-10-10]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33957891/>. DOI: 10.1186/s12886-021-01963-x.
- [9] Trancón AS, Manito SC, Sierra OT, et al. Determining vault size in implantable collamer lenses: preoperative anatomy and lens parameters [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2020, 46(5): 728-736. DOI: 10.1097/j.jers.000000000000146.
- [10] Lee DH, Choi SH, Chung ES, et al. Correlation between preoperative biometry and posterior chamber phakic Visian implantable collamer lens vaulting [J]. *Ophthalmology*, 2012, 119(2): 272-277. DOI: 10.1016/j.ophtha.2011.07.047.
- [11] Kato S, Shimizu K, Igarashi A. Vault changes caused by light-induced pupil constriction and accommodation in eyes with an implantable collamer lens [J]. *Cornea*, 2019, 38(2): 217-220. DOI: 10.1097/ICO.0000000000001785.
- [12] Lu Y, Yang N, Li X, et al. Four-year follow-up of the changes in anterior segment after phakic collamer lens implantation [J]. *Am J Ophthalmol*, 2017, 178: 140-149. DOI: 10.1016/j.ajo.2017.03.020.
- [13] Moya T, Javaloy J, Montés-Micó R, et al. Implantable collamer lens for myopia: assessment 12 years after implantation [J]. *J Refract Surg*, 2015, 31(8): 548-556. DOI: 10.3928/1081597X-20150727-05.
- [14] Schmidinger G, Lackner B, Pieh S, et al. Long-term changes in posterior chamber phakic intraocular collamer lens vaulting in myopic patients [J]. *Ophthalmology*, 2010, 117(8): 1506-1511. DOI: 10.1016/j.ophtha.2009.12.013.
- [15] 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 [J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2016, 18(12): 724-728. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2016.12.005.
- [16] 薛艳珍, 周奇志. 有晶状体眼后房型人工晶状体植入术后 UBM 与前节 OCT 测量拱高一致性比较 [J]. *中华实验眼科杂志*, 2019, 37(4): 287-291. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.04.010.
- [17] Xue YZ, Zhou QZ. Agreement of central vault measurements between UBM and anterior segment OCT in posterior chamber intraocular lens implanted eyes [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2019, 37(4): 287-291. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.04.010.
- [18] Wan T, Yin H, Yang Y, et al. Comparative study of anterior segment measurements using 3 different instruments in myopic patients after ICL implantation [J/OL]. *BMC Ophthalmol*, 2019, 19(1): 182 [2023-10-10]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31409385/>. DOI: 10.1186/s12886-019-1194-y.
- [19] Reinstein DZ, Vida RS, Archer TJ. Visual outcomes, footplate position and vault achieved with the Visian implantable collamer lens for myopic astigmatism [J]. *Clin Ophthalmol*, 2021, 15: 4485-4497. DOI: 10.2147/OPTH.S330879.
- [20] Lindland A, Heger H, Kugelberg M, et al. Changes in vaulting of myopic and toric implantable collamer lenses in different lighting conditions [J]. *Acta Ophthalmol*, 2012, 90(8): 788-791. DOI: 10.1111/j.1755-3768.2011.02224.x.
- [21] Srirampur A, Pesala V, Mansoori T, et al. Effect of pupil size on posterior chamber phakic intraocular lens vault measurements [J]. *Indian J Ophthalmol*, 2021, 69(9): 2289-2292. DOI: 10.4103/ijo.IJO_3429_20.

(收稿日期: 2023-10-20 修回日期: 2024-02-27)

(本文编辑: 刘艳 施晓萌)