

# V4c 中央孔型 ICL 植入术后非预期拱高患者安全性及有效性的长期临床观察

王佼佼<sup>1</sup> 王珏<sup>2</sup> 靳琳<sup>2</sup> 张楠<sup>2</sup> 冯紫靖<sup>2</sup> 张立军<sup>2</sup>

<sup>1</sup>大连医科大学研究生院,大连 116044;<sup>2</sup>大连理工大学附属第三人民医院眼科 大连市眼科医院  
辽宁省角膜与眼表疾病重点实验室 辽宁省验光技术工程研究中心,大连 116033

通信作者:张立军,Email:lijunzhangw@gmail.com

**【摘要】 目的** 评估 V4c 中央孔型有晶状体眼后房型人工晶状体(ICL)植入术后非预期拱高(本研究非预期拱高分别为 760~1 230  $\mu\text{m}$  及 160~249  $\mu\text{m}$ )患者保守观察的长期安全性和有效性。**方法** 采用回顾性队列研究,纳入 2015 年 6 月至 2020 年 4 月于大连市第三人民医院行 V4c 中央孔型 ICL 植入术后出现非预期拱高患者 57 例 80 眼,均予以保守观察。根据术后 1 个月拱高大小分为低拱高组( $<250 \mu\text{m}$ )14 例 17 眼和高拱高组( $>750 \mu\text{m}$ )43 例 63 眼,随访 5 年。评估术后 1、3、5 年的手术安全性和有效性指数;比较 2 个组视力、眼压、角膜内皮细胞密度(ECD)及拱高变化,并分析术后拱高的影响因素。**结果** 术后 1、3、5 年,手术有效性指数和安全性指数均大于 1。低拱高组和高拱高组术后不同时间点裸眼视力总体比较差异均无统计学意义(Wald  $\chi^2_{\text{组别}} = 1.146, P = 0.284$ ; Wald  $\chi^2_{\text{时间}} = 8.921, P = 0.063$ )。不同时间点 ECD 总体比较差异有统计学意义( $F_{\text{时间}} = 12.671, P = 0.001$ ),其中高拱高组术后 1 d、1 个月、6 个月、1 年、3 年、5 年 ECD 均较术前显著降低,术后 1 个月、6 个月、3 年、5 年 ECD 均较术后 1 d 降低,术后 3 年、5 年 ECD 较术后 1 个月降低,差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ )。低拱高组术后 1 个月、6 个月、1 年、3 年、5 年 ECD 均较术前和术后 1 d 显著降低,差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ )。低拱高组和高拱高组术后不同时间点拱高总体比较差异均有统计学意义( $F_{\text{组别}} = 378.580, P = 0.001$ ;  $F_{\text{时间}} = 93.560, P = 0.001$ ),其中高拱高组术后拱高随时间呈下降趋势,两两比较差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ );低拱高组术后 1 个月、6 个月、1 年、3 年、5 年拱高均低于术后 1 d,术后 6 个月、1 年、3 年、5 年拱高均低于术后 1 个月,术后 1、3、5 年拱高均低于术后 6 个月,差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ )。多元线性回归分析结果显示,晶状体厚度(LT) ( $\beta = -524.798, P = 0.001$ )、水平睫状沟到睫状沟间距(STS)-水平角膜直径(WTW) ( $\beta = -158.707, P < 0.001$ )、术前前房容积(ACV) ( $\beta = -3.790, P = 0.021$ )、术前前房深度(ACD) ( $\beta = 729.715, P < 0.001$ )、ICL 尺寸 ( $\beta = 222.324, P = 0.047$ ) 是拱高的影响因素,回归方程为:拱高 =  $-472.311 - 524.798 \times \text{LT} - 158.707 \times \text{水平 STS-WTW} - 3.790 \times \text{术前 ACV} + 729.715 \times \text{术前 ACD} + 222.324 \times \text{ICL 尺寸}$  ( $R^2 = 0.412, F = 7.150, P = 0.001$ )。**结论** V4c 中央孔型 ICL 植入术后拱高在非预期范围且未经手术调整患者均具有良好的有效性、长期稳定性及安全性。LT、ACV、ACD、水平 STS-WTW、ICL 尺寸是 ICL 植入术后拱高是否处于预期范围的影响因素。

**【关键词】** 有晶状体眼后房型人工晶状体, V4c 中央孔型; 非预期拱高; 安全性; 有效性; 长期观察

**基金项目:** 辽宁省科技计划联合计划项目(2024JH2/102600030); 中央高校基本科研业务费资助项目(DUT25YG270)

**临床试验注册:** 中国临床试验注册中心(ChiCTR2500096308)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20250721-00236

## Long-term clinical observation on the safety and stability of implantable collamer lens with a central hole (ICL V4c) with unexpected vault

Wang Jiaojiao<sup>1</sup>, Wang Jue<sup>2</sup>, Jin Lin<sup>2</sup>, Zhang Nan<sup>2</sup>, Feng Zijing<sup>2</sup>, Zhang Lijun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduate School, Dalian Medical University, Dalian 116044, China; <sup>2</sup>Department of Ophthalmology, Dalian Third People's Hospital Affiliated to Dalian University of Technology, Dalian Eye Hospital, Liaoning Provincial Key Laboratory of Cornea and Ocular Surface Diseases, Liaoning Provincial Optometry Technology Engineering Research Center, Dalian 116033, China

Corresponding author: Zhang Lijun, Email: lijunzhangw@gmail.com

**【Abstract】 Objective** To evaluate the long-term safety and effectiveness of conservative observation in

patients with unexpected vault (in this study, the unexpected vault ranges were defined as 760–1 230  $\mu\text{m}$  and 160–249  $\mu\text{m}$ ) after posterior chamber implantable collamer lens (ICL) V4c with central hole implantation. **Methods** A retrospective cohort study was performed. A total of 57 patients (80 eyes) with unexpected vault after ICL V4c with central hole implantation in Dalian Third People's Hospital from June 2015 to April 2020 were enrolled and managed with conservative follow-up. According to the vault at 1 month postoperatively, the patients were divided into the low vault group (<250  $\mu\text{m}$ ) of 14 patients (17 eyes) and the high vault group (>750  $\mu\text{m}$ ) of 43 patients (63 eyes), with a 5-year follow-up. The surgical safety and effectiveness index were evaluated at 1, 3, and 5 years after surgery. The changes in visual acuity, intraocular pressure, corneal endothelial cell density (ECD) and vault were compared between the two groups, and the influencing factors of postoperative vault were analyzed. This study was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. The research protocol was approved by the Ethics Committee of Dalian Third People's Hospital (No. 2023-086-004), and written informed consent was obtained from all patients prior to surgery. **Results** At 1, 3, and 5 years after surgery, the effectiveness index and safety index were all greater than 1 in both groups. There was no significant overall difference in uncorrected visual acuity at different time points after surgery between the low vault group and the high vault group (Wald  $\chi^2_{\text{group}} = 1.146$ ,  $P = 0.284$ ; Wald  $\chi^2_{\text{time}} = 8.921$ ,  $P = 0.063$ ). There were statistically significant overall differences in ECD at different time points in the two groups ( $F_{\text{time}} = 12.671$ ,  $P = 0.001$ ). In the high vault group, the ECD at 1 day, 1 month, 6 months, 1 year, 3 years and 5 years after operation were significantly lower than that before operation, the ECD at 1 month, 6 months, 3 years and 5 years after operation were all lower than that at 1 day after operation, and the ECD at 3 years and 5 years after operation was lower than that at 1 month after operation (all  $P < 0.05$ ). In the low vault group, the ECD at 1 month, 6 months, 1 year, 3 years and 5 years after operation were significantly lower than that before operation and 1 day after operation (all  $P < 0.05$ ). There were statistically significant differences in vault between the two groups at different time points after operation ( $F_{\text{group}} = 378.580$ ,  $P = 0.001$ ;  $F_{\text{time}} = 93.560$ ,  $P = 0.001$ ). In the high vault group, the vault after operation decreased with time, and the pairwise differences were statistically significant (all  $P < 0.05$ ). In the low vault group, the vault at 1 month, 6 months, 1 year, 3 years and 5 years after operation were lower than that at 1 day after operation, the vault at 6 months, 1 year, 3 years and 5 years after operation were lower than that at 1 month after operation, and the vault at 1, 3 and 5 years after operation were lower than that at 6 months after operation, with statistical significances (all  $P < 0.05$ ). Multiple linear regression analysis results showed that lens thickness (LT) ( $\beta = -524.798$ ,  $P = 0.001$ ), horizontal sulcus-to-sulcus (STS)- (white-to-white) WTW ( $\beta = -158.707$ ,  $P < 0.001$ ), preoperative (anterior chamber volume) ACV ( $\beta = -3.790$ ,  $P = 0.021$ ), preoperative (anterior chamber depth) ACD ( $\beta = 729.715$ ,  $P < 0.001$ ) and ICL size ( $\beta = 222.324$ ,  $P = 0.047$ ) were the influencing factors of vault. The regression equation was vault =  $-472.311 - 524.798 \times \text{LT} - 158.707 \times \text{horizontal STS-WTW} - 3.790 \times \text{preoperative ACV} + 729.715 \times \text{preoperative ACD} + 222.324 \times \text{ICL size}$  ( $R^2 = 0.412$ ,  $F = 7.150$ ,  $P = 0.001$ ). **Conclusions** ICL V4c with central hole implantation in patients with unexpected vault ranges without secondary surgical adjustment shows good effectiveness, safety, and long-term stability. LT, ACV, ACD, horizontal STS-WTW, and ICL size are factors that influence whether the arch height of ICL is in the ideal range after surgery.

**[Key words]** Implantable collamer lens, V4c; Unexpected vault; Safety; Efficacy; Long-term observation

**Fund program:** Liaoning Province Science and Technology Plan Joint Program (2024JH2/102600030); Fundamental Research Funds for the Central Universities (DUT25YG270)

**Trial registration:** Chinese Clinical Trial Registry (ChiCTR2500096308)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20250721-00236

全球近视患病率呈快速增长趋势, 预计至 2050 年, 50% 人口将患有近视, 其中 9.8% 为高度近视<sup>[1-2]</sup>。近年来, 随着激光技术的成熟应用和显微手术技术的飞速发展, 以角膜屈光手术和晶状体屈光手术为代表的屈光矫正手术成为近视特别是高度近视矫正新的热点。角膜屈光手术对于低、中度近视矫正具有可预测性好、安全性高等优点<sup>[3]</sup>; 但矫正高度近视需要切削

更多的角膜组织, 角膜神经损伤更明显, 修复周期更长, 眼表损伤更重, 因此术后患者视觉质量受影响更大, 稳定性更差<sup>[4-5]</sup>。有晶状体眼后房型人工晶状体 (implantable collamer lens, ICL) 植入术因其具有良好的矫正效果、更大的矫正度数、可以保留眼的调节功能、良好的可逆性及可预测性等优点<sup>[6-7]</sup>, 成为晶状体屈光手术的主流方式。该术式能更好地满足高度和超

高度近视患者对视力及视觉质量的需求,其中 V4c 中央孔型 ICL 在保障视力的同时,还可降低术后青光眼、白内障等并发症的发生风险,为高度近视患者提供了更优的治疗选择<sup>[8]</sup>。ICL 置于后房,拱高,即 ICL 后表面与自身晶状体前表面的垂直距离是评估其眼内植入安全性的重要指标<sup>[9]</sup>。拱高过低,ICL 与自身晶状体间距过近,易导致晶状体前囊下混浊;拱高过高,易造成周边前房受压或与虹膜摩擦,增加青光眼的发生风险<sup>[10-11]</sup>。拱高异常时可能需要二次手术,进行 ICL 调位、更换或取出,不仅增加眼内炎、角膜内皮损伤及术源性白内障等手术相关并发症的发生风险,且增加患者的心理和经济负担。ICL 尺寸是决定拱高的重要因素,即使术前使用多种生物测量方式反复测量,ICL 尺寸计算仍存在难以避免的误差,从而导致术后异常拱高<sup>[12]</sup>。ICL 植入后的预期拱高值为 250~750  $\mu\text{m}$ <sup>[13-14]</sup>。研究表明,V4c 中央孔型 ICL 的中央孔可引流房水,其拱高极限范围达 100~1 000  $\mu\text{m}$ <sup>[15]</sup>。除 ICL 设计因素外,不同个体受其前房深度(anterior chamber depth, ACD)、睫状沟状态的影响,对非预期拱高的耐受程度也存在差异。目前对 V4c 中央孔型 ICL 植入术后患者的长期随访研究较少,尤其是针对异常拱高患者长期安全性及稳定性的观察研究。本研究对 V4c 中央孔型 ICL 植入术后出现拱高非预期状态且选择保守观察的患者进行 5 年回顾性分析,旨在评估其长期安全性、稳定性和有效性。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

采用回顾性队列研究,纳入 2015 年 6 月至 2020 年 4 月于大连市第三人民医院接受 V4c 中央孔型 ICL (瑞士 STAAR 公司)植入术后出现非预期拱高的患者 57 例 80 眼,其中女 44 例 62 眼,男 13 例 18 眼。纳入标准:(1)年龄 $\geq 18$  岁且屈光状态稳定 2 年以上(近 2 年每年屈光度变化 $\leq 0.50$  D)<sup>[16]</sup>;(2)术前角膜内皮细胞密度(endothelial cell density, ECD) $\geq 2 000$  个/ $\text{mm}^2$ ,细胞形态稳定,ACD $\geq 2.80$  mm,房角开放;(3)术后 1 个月拱高 $< 250 \mu\text{m}$  或 $> 750 \mu\text{m}$ 。排除标准:(1)有未稳定的角膜扩张性疾病、角膜内皮营养不良、重度干眼、眼部活动性病变或感染性疾病者;(2)有未控制的青光眼、明显影响视力的白内障或眼底疾病者;(3)既往有眼部外伤或手术史者;(4)有严重的精神心理疾病、全身性疾病,长期口服药物者。根据术后 1 个月非预期拱高眼的拱高大小分为高拱高组(拱高 760~1 230  $\mu\text{m}$ ) 43 例 63 眼和低拱高组(拱高

160~249  $\mu\text{m}$ ) 14 例 17 眼。2 个组裸眼视力(uncorrected visual acuity, UCVA)、最佳矫正视力(best-corrected visual acuity, BCVA)、年龄、等效球镜度(spherical equivalent, SE)、眼压、眼轴长度(axial length, AL)、水平角膜直径(white-to-white, WTW)、中央角膜厚度(central corneal thickness, CCT)、ECD、垂直和水平睫状沟到睫状沟间距(sulcus-to-sulcus, STS)比较差异均无统计学意义( $Z = -0.328, -1.444, t = -0.591, 0.414, 1.193, 0.077, 1.295, -0.411, 0.260, -1.132, -1.383$ , 均 $P > 0.05$ );低拱高组晶状体厚度(lens thickness, LT)、水平 STS-WTW 高于高拱高组,ACD、前房容积(anterior chamber volume, ACV)低于高拱高组,差异均有统计学意义( $t = -2.894, -2.184, 3.916, 2.631$ , 均 $P < 0.05$ ) (表 1)。本研究遵循《赫尔辛基宣言》,研究方案经大连市第三人民医院伦理委员会批准(批文号:2023-086-004),所有患者均签署手术知情同意书。

### 1.2 方法

**1.2.1 相关参数测量** 采用标准对数视力表检测 UCVA 和 BCVA,并用小数记录法记录;采用非接触式眼压计(CT-800,日本 Topcon 公司)测量眼压;采用显微镜下数字卡尺和眼前节分析系统 Pentacam(70700,德国 Oculus 公司)测量 WTW,数字卡尺测量由 2 位医师完成并验证,纳入数据为 Pentacam 测量结果;采用非接触角膜内皮显微镜(SP3000P,日本 Topcon 公司)测量 ECD;采用 Pentacam、超声生物显微镜(ultrasound biomicroscopy, UBM) (md-300L,天津迈达医学科技股份有限公司)及眼前节光学相干断层扫描(anterior-segment optical coherence tomography, AS-OCT)仪(德国 Heidelberg 公司)采集 ACD、ACV 和拱高,纳入数据为 Pentacam 测量结果;采用 IOLMaster 700(德国 Zeiss 公司)测量 AL 和 LT;采用 UBM 测量垂直及水平 STS,观察睫状沟形态以及睫状体囊肿。

**1.2.2 ICL 度数及尺寸测算** 依据患者有无散光选择常规 ICL 或散光 ICL(toric ICL, TICL)。ICL 度数及尺寸依据 STAAR 公司提供的 OCOS 系统测算,其尺寸大小为 12.1、12.6、13.2 及 13.7 mm 4 种规格。

**1.2.3 手术方法** 所有手术均由同一位经验丰富的术者完成。术前 3 d 使用抗生素及非甾体抗炎滴眼液点眼。ICL 植入术当天提前 30 min 采用复方托吡卡胺滴眼液(沈阳兴齐眼药股份有限公司)扩瞳,每 10 min 用药 1 次,直至瞳孔充分扩大。术眼行表面麻醉,无菌状态下将 V4c 中央孔型 ICL 预装入专用推注舱内,固定推注舱于推注器上;常规消毒铺巾,开睑器

开睑,于颞侧角巩缘处行 3.0 mm 透明角膜切口;ICL 专用推注器经透明角膜切口植入 V4c 中央孔型 ICL; ICL 上方注入粘弹剂保护角膜内皮,调位钩将 ICL 襻放入虹膜后且位于睫状沟内;如植入为 TICL,依据散光标记调整散光轴位;平衡盐溶液冲洗前房,置换出粘弹剂;确定透明角膜切口密闭后将妥布霉素地塞米松眼膏(比利时 Alcon 公司)涂于结膜囊,无菌敷料包眼,术毕。术后点用糖皮质激素类滴眼液,4 次/日,逐周递减;抗生素滴眼液 4 次/日,点 3 周;非甾体抗炎类滴眼液和人工泪液 4 次/日,点 4 周。

**1.2.4 随访指标** 收集术后 1 d、1 个月、6 个月、1 年、3 年、5 年的 UCVA、BCVA、SE、眼压、ECD、拱高。观察术后眼内炎、白内障等手术相关并发症发生情况。评估术后 1、3、5 年的手术安全性和有效性指数,有效性指数=术后 UCVA/术前 BCVA,安全性指数=术后 BCVA/术前 BCVA。

**1.3 统计学方法**

采用 SPSS 27.0 统计学软件进行统计分析。计量资料经 Shapiro-Wilk 检验证实符合正态分布者以  $\bar{x} \pm s$  表示,2 个组各参数比较采用独立样本 *t* 检验,2 个组不同时间点各指标总体比较采用重复测量两因素方差分析,事后比较采用 LSD-*t* 检验;不符合正态分布者以  $M(Q_1, Q_3)$  表示,2 个组各参数比较采用 Mann-Whitney

*U* 检验,2 个组术后不同时间点各参数比较采用广义估计方程。采用 Pearson 相关分析评估各参数与拱高的相关性;以 Pearson 相关分析中与拱高相关的因素作为自变量,以拱高为因变量进行多元线性回归分析,剔除自变量间具有显著共线性的指标 WTW(方差膨胀因子>10)。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

**2 结果**

**2.1 手术安全性及有效性分析**

术后 1、3、5 年,手术有效性指数和安全性指数均大于 1。所有术眼术后均未发生眼内炎、青光眼、白内障、角膜内皮失代偿等并发症,其中高拱高组未见房角关闭及眼压持续升高,低拱高组未见前囊下混浊等并发症,且未进行手术调整。

**2.2 低拱高组和高拱高组术后不同时间点 UCVA 比较**

低拱高组和高拱高组术后不同时间点 UCVA 总体比较差异均无统计学意义(Wald  $\chi^2_{组别} = 1.146, P = 0.284$ ; Wald  $\chi^2_{时间} = 8.921, P = 0.063$ )(表 2)。

**2.3 低拱高组和高拱高组手术前后不同时间点眼压和 ECD 比较**

低拱高组和高拱高组不同时间点眼压总体比较差异均无统计学意义( $F_{组别} = 0.117, P = 0.733$ ;  $F_{时间} =$

**表 1 低拱高组和高拱高组术前一般资料和生物测量参数比较**

**Table 1 Comparison of general preoperative data and biometric parameters between the low vault group and high vault group**

组别	例数/眼数	年龄( $\bar{x} \pm s$ , 岁) <sup>a</sup>	UCVA [ $M(Q_1, Q_3)$ ] <sup>b</sup>	BCVA [ $M(Q_1, Q_3)$ ] <sup>b</sup>	SE( $\bar{x} \pm s, D$ ) <sup>a</sup>	眼压( $\bar{x} \pm s, \text{mmHg}$ ) <sup>a</sup>
高拱高组	43/63	25.51±7.55	0.05(0.02, 0.05)	1.0(0.6, 1.0)	-10.19±2.56	16.63±2.70
低拱高组	14/17	26.71±6.84	0.06(0.02, 0.08)	1.0(1.0, 1.2)	-10.49±2.77	15.77±2.54
<i>t</i> / <i>Z</i> 值		-0.591	-0.328	-1.444	0.414	1.193
<i>P</i> 值		0.556	0.743	0.149	0.680	0.237
组别	例数/眼数	AL( $\bar{x} \pm s, \text{mm}$ ) <sup>a</sup>	LT( $\bar{x} \pm s, \text{mm}$ ) <sup>a</sup>	WTW( $\bar{x} \pm s, \text{mm}$ ) <sup>a</sup>	CCT( $\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$ ) <sup>a</sup>	ECD( $\bar{x} \pm s, \text{个}/\text{mm}^2$ ) <sup>a</sup>
高拱高组	43/63	27.34±1.29	3.59±0.19	11.62±0.39	511.56±29.88	2 854.73±283.26
低拱高组	14/17	27.31±1.33	3.73±0.12	11.49±0.32	514.94±31.16	2 834.88±260.90
<i>t</i> / <i>Z</i> 值		0.077	-2.894	1.295	-0.411	0.260
<i>P</i> 值		0.939	0.005	0.199	0.682	0.795
组别	例数/眼数	ACD( $\bar{x} \pm s, \text{mm}$ ) <sup>a</sup>	ACV( $\bar{x} \pm s, \text{mm}^3$ ) <sup>a</sup>	垂直 STS( $\bar{x} \pm s, \text{mm}$ ) <sup>a</sup>	水平 STS( $\bar{x} \pm s, \text{mm}$ ) <sup>a</sup>	水平 STS-WTW( $\bar{x} \pm s, \text{mm}$ ) <sup>a</sup>
高拱高组	43/63	3.36±0.27	212.43±30.73	12.54±0.72	12.17±0.81	0.58±0.59
低拱高组	14/17	3.07±0.25	189.82±34.0	12.76±0.66	12.48±0.88	0.95±0.73
<i>t</i> / <i>Z</i> 值		3.916	2.631	-1.132	-1.383	-2.184
<i>P</i> 值		0.001	0.010	0.261	0.171	0.032

注:(a:独立样本 *t* 检验;b:Mann-Whitney *U* 检验) UCVA:裸眼视力;BCVA:最佳矫正视力;SE:等效球镜度;AL:眼轴长度;LT:晶状体厚度;WTW:水平角膜直径;CCT:中央角膜厚度;ECD:内皮细胞密度;ACD:前房深度;ACV:前房容积;STS:睫状沟到睫状沟间距 1 mmHg=0.133 kPa  
 Note: (a: Independent samples *t*-test; b: Mann-Whitney *U* test) UCVA: uncorrected visual acuity; BCVA: best-corrected visual acuity; SE: spherical equivalent; AL: axial length; LT: lens thickness; WTW: white-to-white; CCT: central corneal thickness; ECD: endothelial cell density; ACD: anterior chamber depth; ACV: anterior chamber volume; STS: sulcus-to-sulcus 1 mmHg=0.133 kPa

0.628,  $P=0.708$  (表 3)。不同时间点 ECD 总体比较差异有统计学意义 ( $F_{\text{时间}}=12.671, P=0.001$ ), 其中高拱高组术后 1 d、1 个月、6 个月、1 年、3 年、5 年 ECD 均较术前显著降低, 术后 1 个月、6 个月、3 年、5 年 ECD 均较术后 1 d 降低, 术后 3 年、5 年 ECD 较术后 1 个月降低, 差异均有统计学意义 (均  $P<0.05$ ); 低拱高组术后 1 个月、6 个月、1 年、3 年、5 年 ECD 均较术前和术后 1 d 显著降低, 差异均有统计学意义 (均  $P<0.05$ ); 2 个组 ECD 比较差异无统计学意义 ( $F_{\text{组别}}=0.029, P=0.866$ ) (表 4)。

**2.4 低拱高组和高拱高组术后不同时间点拱高比较**

低拱高组和高拱高组术后不同时间点拱高总体比较差异均有统计学意义 ( $F_{\text{组别}}=378.580, P=0.001$ ;  $F_{\text{时间}}=93.560, P=0.001$ ), 其中高拱高组术后拱高随时间呈下降趋势, 两两比较差异均有统计学意义 (均  $P<0.05$ ); 低拱高组术后 1 个月、6 个月、1 年、3 年、5 年拱高均低于术后 1 d, 术后 6 个月、1 年、3 年、5 年拱

高均低于术后 1 个月, 术后 1、3、5 年拱高均低于术后 6 个月, 差异均有统计学意义 (均  $P<0.05$ ) (表 5)。

**2.5 术后拱高的相关因素及多元线性回归分析**

以术后 1 个月拱高为基线, LT、水平 STS-WTW 与术后拱高呈弱负相关 ( $r=-0.311, -0.246$ , 均  $P<0.05$ ); ACD、ACV、ICL 尺寸、WTW 与术后拱高呈弱正相关 ( $r=0.445, 0.286, 0.303, 0.225$ , 均  $P<0.05$ ) (图 1)。年龄、STS、AL、术前 SE、CCT 与术后拱高均无明显相关性 (均  $P>0.05$ )。多元线性回归分析结果显示, LT ( $\beta=-524.798, P=0.001$ )、水平 STS-WTW ( $\beta=-158.707, P<0.001$ )、术前 ACV ( $\beta=-3.790, P=0.021$ )、术前 ACD ( $\beta=729.715, P<0.021$ )、ICL 尺寸 ( $\beta=222.324, P=0.047$ ) 是拱高的影响因素, 回归方程为: 拱高 =  $-472.311 - 524.798 \times \text{LT} - 158.707 \times \text{水平 STS-WTW} - 3.790 \times \text{术前 ACV} + 729.715 \times \text{术前 ACD} + 222.324 \times \text{ICL 尺寸}$  ( $R^2=0.412, F=7.150, P=0.001$ ) (表 6)。

表 2 低拱高组和高拱高组术后不同时间点 UCVA 比较 [ $M(Q_1, Q_3)$ ]

Table 2 Comparison of UCVA at different time points after surgery between the low vault group and high vault group ( $M[Q_1, Q_3]$ )

组别	眼数	术后 1 个月	术后 6 个月	术后 1 年	术后 3 年	术后 5 年
高拱高组	63	1.2(1.0,1.2)	1.2(1.0,1.2)	1.2(1.0,1.2)	1.2(1.0,1.2)	1.2(1.0,1.2)
低拱高组	17	1.2(1.0,1.2)	1.2(1.0,1.2)	1.2(1.0,1.2)	1.2(1.0,1.2)	1.2(1.0,1.2)

注:  $Wald \chi^2_{\text{组别}}=1.146, P=0.284$ ;  $Wald \chi^2_{\text{时间}}=8.921, P=0.063$ ;  $Wald \chi^2_{\text{交互作用}}=2.834, P=0.586$  (广义估计方程) UCVA: 裸眼视力  
 Note:  $Wald \chi^2_{\text{group}}=1.146, P=0.284$ ;  $Wald \chi^2_{\text{time}}=8.921, P=0.063$ ;  $Wald \chi^2_{\text{interaction}}=2.834, P=0.586$  (Generalized estimating equations) UCVA: uncorrected visual acuity

表 3 低拱高组和高拱高组手术前后不同时间点眼压比较 ( $\bar{x} \pm s, \text{mmHg}$ )

Table 3 Comparison of intraocular pressure at different time points before and after surgery between the low vault group and high vault group ( $\bar{x} \pm s, \text{mmHg}$ )

组别	眼数	术前	术后 1 d	术后 1 个月	术后 6 个月	术后 1 年	术后 3 年	术后 5 年
高拱高组	63	16.63±2.70	17.06±3.12	16.49±2.91	16.44±2.74	16.30±2.56	16.49±2.46	16.40±2.43
低拱高组	17	15.76±2.54	16.24±2.51	16.71±2.34	16.00±2.29	16.41±2.45	16.82±2.51	16.53±2.32

注:  $F_{\text{组别}}=0.117, P=0.733$ ;  $F_{\text{时间}}=0.628, P=0.708$ ;  $F_{\text{交互作用}}=1.074, P=0.377$  (重复测量两因素方差分析) 1 mmHg=0.133 kPa  
 Note:  $F_{\text{group}}=0.117, P=0.733$ ;  $F_{\text{time}}=0.628, P=0.708$ ;  $F_{\text{interaction}}=1.074, P=0.377$  (Two-way repeated measures ANOVA) 1 mmHg=0.133 kPa

表 4 低拱高组和高拱高组手术前后不同时间点 ECD 比较 ( $\bar{x} \pm s, \text{个}/\text{mm}^2$ )

Table 4 Comparison of ECD at different time points before and after surgery between the low vault group and high vault group ( $\bar{x} \pm s, \text{pcs}/\text{mm}^2$ )

组别	眼数	术前	术后 1 d	术后 1 个月	术后 6 个月	术后 1 年	术后 3 年	术后 5 年
高拱高组	63	2 854.73±283.26	2 768.68±252.17 <sup>a</sup>	2 730.78±223.14 <sup>ab</sup>	2 713.40±232.52 <sup>ab</sup>	2 703.30±349.88 <sup>a</sup>	2 701.71±232.77 <sup>abc</sup>	2 710.03±227.33 <sup>abc</sup>
低拱高组	17	2 834.88±260.90	2 773.35±239.64	2 700.71±204.37 <sup>ab</sup>	2 705.12±204.17 <sup>ab</sup>	2 708.76±217.65 <sup>ab</sup>	2 701.24±203.58 <sup>ab</sup>	2 683.65±208.52 <sup>ab</sup>

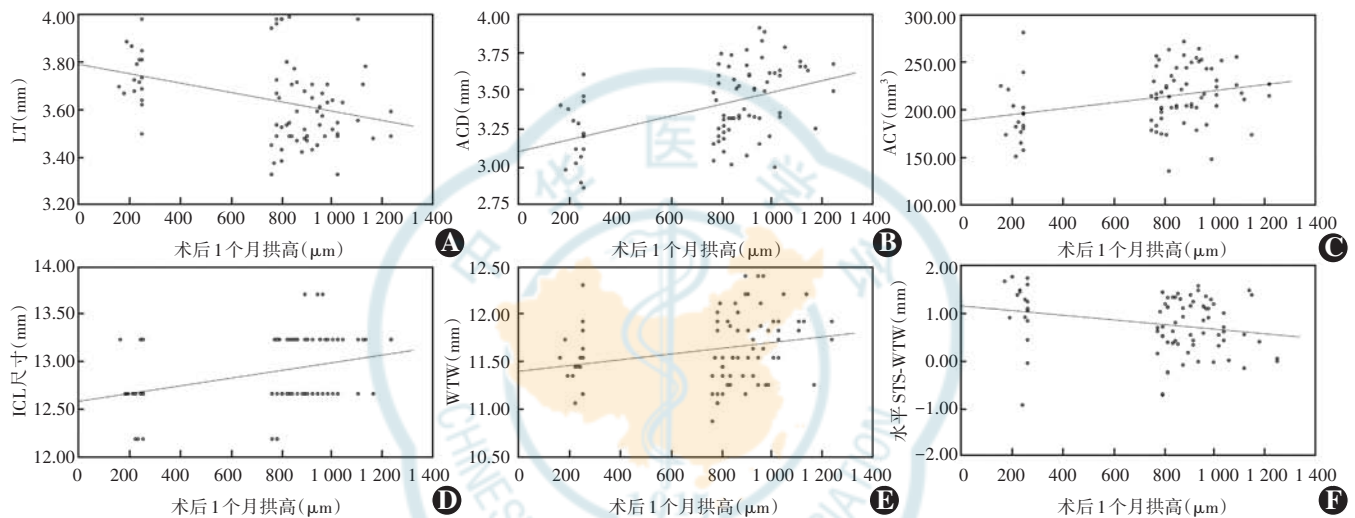
注:  $F_{\text{组别}}=0.029, P=0.866$ ;  $F_{\text{时间}}=12.671, P=0.001$ ;  $F_{\text{交互作用}}=0.234, P=0.966$ 。与术前比较, <sup>a</sup> $P<0.05$ ; 与术后 1 d 比较, <sup>b</sup> $P<0.05$ ; 与术后 1 个月比较, <sup>c</sup> $P<0.05$  (重复测量两因素方差分析, LSD-*t* 检验) ECD: 内皮细胞密度  
 Note:  $F_{\text{group}}=0.029, P=0.866$ ;  $F_{\text{time}}=12.671, P=0.001$ ;  $F_{\text{interaction}}=0.234, P=0.966$ 。Compared with preoperative, <sup>a</sup> $P<0.05$ ; compared with 1 day postoperatively, <sup>b</sup> $P<0.05$ ; compared with 1 month postoperatively, <sup>c</sup> $P<0.05$  (Two-way repeated measures ANOVA, LSD-*t* test) ECD: endothelial cell density

**表 5 低拱高组和高拱高组术后不同时间点拱高比较( $\bar{x}\pm s, \mu\text{m}$ )**  
**Table 5 Comparison of vault at different time points after surgery between the low vault group and high vault group ( $\bar{x}\pm s, \mu\text{m}$ )**

组别	眼数	术后 1 d	术后 1 个月	术后 6 个月	术后 1 年	术后 3 年	术后 5 年
高拱高组	63	907.14±119.13	841.75±120.50 <sup>a</sup>	752.24±120.03 <sup>ab</sup>	705.54±125.56 <sup>abc</sup>	675.54±130.11 <sup>abcd</sup>	658.81±129.55 <sup>abcde</sup>
低拱高组	17	233.53±34.45	222.53±30.78 <sup>a</sup>	202.88±35.01 <sup>ab</sup>	188.65±32.64 <sup>abc</sup>	187.35±30.01 <sup>abc</sup>	188.12±32.46 <sup>abc</sup>

注:  $F_{\text{组别}}=378.580, P=0.001; F_{\text{时间}}=93.560, P=0.001; F_{\text{交互作用}}=41.684, P=0.001$ . 与术后 1 d 比较, <sup>a</sup> $P<0.05$ ; 与术后 1 个月比较, <sup>b</sup> $P<0.05$ ; 与术后 6 个月比较, <sup>c</sup> $P<0.05$ ; 与术后 1 年比较, <sup>d</sup> $P<0.05$ ; 与术后 3 年比较, <sup>e</sup> $P<0.05$  (重复测量两因素方差分析, LSD- $t$  检验)

Note:  $F_{\text{group}}=378.580, P=0.001; F_{\text{time}}=93.560, P=0.001; F_{\text{interaction}}=41.684, P=0.001$ . Compared with 1 day postoperatively, <sup>a</sup> $P<0.05$ ; compared with 1 month postoperatively, <sup>b</sup> $P<0.05$ ; compared with 6 months postoperatively, <sup>c</sup> $P<0.05$ ; compared with 1 year postoperatively, <sup>d</sup> $P<0.05$ ; compared with 3 years postoperatively, <sup>e</sup> $P<0.05$  (Two-way repeated measures ANOVA, LSD- $t$  test)



**图 1 拱高与各因素的相关性分析 (Pearson 相关分析,  $n=80$ )** A: LT 与拱高呈负相关 ( $r=-0.311, P=0.003$ ) B: ACD 与拱高呈正相关 ( $r=0.445, P=0.001$ ) C: ACV 与拱高呈正相关 ( $r=0.286, P=0.010$ ) D: ICL 尺寸与拱高呈正相关 ( $r=0.303, P=0.006$ ) E: WTW 与拱高呈正相关 ( $r=0.225, P=0.045$ ) F: 水平 STS-WTW 与拱高呈负相关 ( $r=-0.246, P=0.028$ ) LT: 晶状体厚度; ACD: 前房深度; ACV: 前房容积; ICL: 有晶状体眼后房型人工晶状体; WTW: 水平角膜直径; STS: 睫状沟到睫状沟间距

**Figure 1 Correlation analysis of vault and various factors** (Pearson correlation analysis,  $n=80$ ) A: LT was negatively correlated with vault ( $r=-0.311, P=0.003$ ) B: ACD was positively correlated with vault ( $r=0.445, P=0.001$ ) C: ACV was positively correlated with the vault ( $r=0.286, P=0.010$ ) D: The ICL size was positively correlated with vault ( $r=0.303, P=0.006$ ) E: WTW was positively correlated with vault ( $r=0.225, P=0.045$ ) F: Horizontal STS-WTW was negatively correlated with vault ( $r=-0.246, P=0.028$ ) LT: lens thickness; ACD: anterior chamber depth; ACV: anterior chamber volume; ICL: implantable collamer lens; WTW: white-to-white; STS: sulcus-to-sulcus

**表 6 术后拱高的多元线性回归分析**  
**Table 6 Multiple linear regression analysis of postoperative vault**

影响因素	$\beta$ 值	标准误	$t$ 值	$P$ 值	95%CI
常量	-472.311	1 238.374	-0.381	0.704	-2 942.170-1 997.547
LT	-524.798	154.235	-3.403	0.001	-832.409--217.187
水平 STS-WTW	-158.707	41.181	-3.857	<0.001	-240.839--76.574
术前 ACV	-3.790	1.604	-2.363	0.021	-6.988--0.591
术前 ACD	729.715	196.078	3.772	<0.001	338.650-1 120.780
ICL 尺寸	222.324	109.935	2.022	0.047	3.065-441.582

注: LT: 晶状体厚度; STS: 睫状沟到睫状沟间距; WTW: 水平角膜直径; ACV: 前房容积; ACD: 前房深度; ICL: 有晶状体眼后房型人工晶状体; CI: 可信区间

Note: LT: lens thickness; STS: sulcus-to-sulcus; WTW: white-to-white; ACV: anterior chamber volume; ACD: anterior chamber depth; ICL: implantable collamer lens; CI: confidence interval

### 3 讨论

随着对术后视觉质量及眼部稳定性要求的提高, ICL 植入术已被越来越多的近视特别是高度近视患者所接受, 具有中央孔的 V4c 中央孔型 ICL 目前全球已有 60 多个国家广泛应用<sup>[17]</sup>, 故而 ICL 在眼内的安全性和稳定性尤为重要。虽然常规应用 STAAR 公司提供的 OCOS 系统可测算植入的 ICL 尺寸, 但因后房及睫状沟形态个体化差异, ICL 术后拱高往往存在预期偏倚。偏离理想拱高的患者如行二次置换或调整, 需再次接受手术并承担手术风险, 在视觉质量良好且无明确并发症的情况下, 医患双方往往均不将其作为首选方案。基于 V4c 中央孔型 ICL 的特殊设计, 术后拱高未达到预期患者选择保守观察成为可能。

国内外对于 ICL 植入术的安全性和有效性有着充分论证<sup>[18-19]</sup>。有研究对 ICL 植入术后低拱高 24 眼进行了 4 年以上的随访观察,评估其发生白内障的风险,但未做高拱高患者相关风险评估<sup>[20]</sup>。崔同峰等<sup>[21]</sup>对非预期拱高患者进行为期 1 年的随访,分析其拱高异常的相关因素,但未做更长期的随访。目前,对于 V4c 中央孔型 ICL 植入术后非预期拱高患者尚无长期随访结果,亦无保守观察的理论依据。本研究对 57 例拱高在非预期范围且不接受手术调整的患者进行了长达 5 年的观察,旨在明确拱高偏高或偏低患者在未接受手术处理情况下的安全性、有效性及稳定性。

本研究术前测量指标 WTW、ACD 等的检查均采用了多种检查设备。WTW 测量方法包括手动测量和检查设备自动测量,常用的手动测量法为量尺或卡钳式测量器,自动测量检查设备包括 IOLMaster、Pentacam、Orbscan-II 眼前节分析仪等。不同方法及设备测量的 WTW 可能会产生一定差异。因此,本研究在 WTW 测量中采用 Pentacam 自动测量后再由 2 名经验丰富的医师使用卡尺再次验证,确保数据准确性和一致性。Wang 等<sup>[22]</sup>的研究结果显示, Galilei G2、Visante OCT、Sirius、Pentacam 4 种设备测量的 ACD 差异局限在 5% 内,具有较好的一致性。本研究采用现有检查设备,对患者术前 ACD、ACV 进行多种设备检测,以 Pentacam 检测数据为主要参考,与其他设备检测结果进行比对,确保检查结果的一致性和准确性。另外,张波等<sup>[23]</sup>评估 Scansys、Pentacam、CASIA、Arcsacn Insight100 测量术后拱高的一致性,得出 Scansys 和 Pentacam 的测量值偏小,两者一致性良好,结果可互相替代。因此,本研究同样使用多种设备测量拱高,确保结果一致性。

本研究结果显示,尽管纳入患者术后拱高偏离预期拱高,术后 UCVA 在长达 5 年的随访期内均维持稳定,提示患者术后长期视力均能得到良好维持,无明显波动;有效性指数及安全性指数均大于 1,说明拱高未在预期范围并不明显影响患者术后视觉的稳定性。本研究患者随访期间均未出现因拱高异常引起的继发性青光眼、并发性白内障(包括晶状体前囊下混浊)及角膜内皮失代偿等并发症,保守观察的安全性得以体现,与既往研究相似<sup>[24]</sup>。拱高过高时房角关闭的风险增加,特别是拱高高于 1 000  $\mu\text{m}$ ,但即使拱高低于 1 000  $\mu\text{m}$ ,术前前房角较小的患者也会存在房角关闭、眼压异常的可能<sup>[25]</sup>。因此对于高拱高组,眼压随访更加重要。本研究结果显示,高拱高组与低拱高组患者术后各时间点眼压比较差异均无统计学意义,说明

2 个组眼压在长达 5 年的随访中均维持稳定,未出现进行性升高或异常波动。ECD 是评价手术安全性的重要指标。本研究结果显示,2 个组患者术后 ECD 均呈缓慢下降趋势,但 2 个组差异无统计学意义,提示不同拱高状态并未对 ECD 的长期安全性造成显著影响。2 个组术后 ECD 较术前均出现不同程度降低,与手术中扰动及术后早期潜在前房反应有关,且减少并不明显,维持在正常计数水平,至术后 1 年保持稳定。非预期拱高患者术后 5 年眼压、ECD 及晶状体状态未因拱高过高或者过低出现异常,与 V4c 中央孔型 ICL 的中央孔有直接关系,术后房水循环通路形成后房-中央孔-瞳孔-前房模式,并不因为 ICL 存在而影响房水循环。但仍需注意的是,过低或过高的拱高仍是术后并发症的危险因素<sup>[26-27]</sup>。虽然根据本研究纳入的拱高范围进行保守观察的安全性良好,但仍需关注并发症相关指标,对于超过本研究纳入拱高范围的患者更需密切随访,若存在并发症发生风险增加,必要时行二次手术调整。

本研究结果显示,高、低拱高组术后拱高整体均随时间呈下降趋势。术后拱高下降首先可能因为术后早期前房内残留粘弹剂逐步吸收致使拱高轻度下移<sup>[28]</sup>,但随着手术显微技术的成熟,ICL 植入前甚至植入后不应用粘弹剂的情况更加多见,本研究入组患者在植入前均未注入粘弹剂,不存在此因素影响拱高下降;其次,有研究者观察到术后早期 ICL 的襻并未进入睫状沟,随着虹膜运动,ICL 襻逐步落入睫状沟内,引起拱高降低<sup>[29]</sup>。高拱高组拱高下降趋势明显,虽然术后 5 年仍未能达到理想拱高范围,但持续的拱高下降也使 ICL 不断远离角膜内皮层;同时随着拱高降低,前房角进一步增加,房水回流障碍风险持续下降,这也是高拱高组患者可以保守观察的重要原因。低拱高组至术后 1 年拱高基本维持稳定,远期无进一步明显下移,与 Kojima 等<sup>[30]</sup>的研究结论相似。除粘弹剂和 ICL 襻落点的因素外,ICL 植入后拱高变化还可能与瞳孔运动和与年龄相关 LT 增加有关<sup>[31]</sup>,低拱高组拱高降低幅度有限,不排除 ICL 襻在术后已固定在睫状沟内,12 个月后拱高趋于稳定也可能是长期观察未影响晶状体的原因。

除了评估非预期拱高患者术后长期的稳定性与安全性外,本研究也分析了影响术后拱高的因素,结果显示 LT、术前 ACD、术前 ACV、ICL 尺寸、水平 STS-WTW 是术后拱高的影响因素。其中 ACD 和 LT 被认为是较为关键的静态影响因素。多数研究一致表明,ACD 与拱高呈正相关<sup>[32]</sup>,LT 与拱高呈负相关<sup>[33]</sup>,与本研究

结果一致,也进一步解释了高拱高组和低拱高组术前 ACD 和 LT 存在差异的内在原因。此外,拱高是否适宜与植入 ICL 尺寸相关,提示合理植入匹配的 ICL 尺寸至关重要。目前计算软件对于 ICL 尺寸的选择主要依据 ACD 和 WTW 作为决策参数,但 WTW 无法代替 STS,WTW 与 STS 之间的差异往往成为拱高偏离理想范围的可能原因<sup>[34]</sup>,本研究水平 STS-WTW 呈现负向干预作用,一旦水平 STS 与 WTW 之间差异增大,水平植入以软件计算的 ICL 尺寸后,术后拱高可能会偏离预期。因此,临床中关注并参考 STS-WTW 值,可能是避免或减少非预期拱高的有效辅助手段之一。

本研究的局限性在于,首先,虽然本研究回顾观察时间足够长,但囿于非预期拱高患者比例不高,故后续研究中需进一步扩大样本量;其次,因部分患者植入的是 TICL 以及术者植入设计习惯,故本研究所有患者 ICL 均为水平放置,但睫状沟形态不同于角膜横椭圆的形态,其垂直方向长于水平方向,因此放置的位置不同可能影响术后拱高<sup>[35]</sup>;此外,本研究纳入样本以术后 1 个月为基线判断拱高是否在理想范围内,随着随访时间推移不排除部分高拱高组患者拱高下降至合理范畴;同时,低拱高组患者拱高虽在非预期范围,但仍高于 100  $\mu\text{m}$ ,暂无低于 100  $\mu\text{m}$  的受试者,后续研究如存在这类患者也可考虑在保证安全性的前提下扩大观察范围;最后,因晶状体矢高数据存在缺失,并未纳入相关性研究中。王静等<sup>[36]</sup>研究指出晶状体矢高与拱高具有较强的负相关性,后续将会关注晶状体矢高对拱高的影响。

综上所述,本研究发现 V4c 中央孔型 ICL 植入术后拱高在非预期范围(本研究非预期拱高分别为 760~1 230  $\mu\text{m}$  及 160~249  $\mu\text{m}$ )且未经手术调整患者均有良好的有效性、长期稳定性及安全性。LT、ACV、ACD、水平 STS-WTW、ICL 尺寸是 ICL 术后拱高是否处于理想范围的影响因素,提示上述参数可作为预测非预期拱高的重要参考指标。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

**作者贡献声明** 王佼佼:设计试验、实施研究、采集数据、分析/解释数据、撰写及修改文章;王珏、靳琳:采集数据、分析数据、修改文章;张楠、冯紫靖:实施研究、采集数据;张立军:设计试验、指导研究实施、论文审阅及定稿

## 参考文献

- [1] Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050 [J]. *Ophthalmology*, 2016, 123(5): 1036–1042. DOI: 10.1016/j.ophtha.2016.01.006.
- [2] Sankaridurg P, Tahhan N, Kandel H, et al. IMI impact of myopia[J].

- Invest Ophthalmol Vis Sci, 2021, 62(5): 2. DOI: 10.1167/iovs.62.5.2.
- [3] Kaluzny BJ, Szkulmowski M, Bukowska DM, et al. Spectral OCT with speckle contrast reduction for evaluation of the healing process after PRK and transepithelial PRK[J]. *Biomed Opt Express*, 2014, 5(4): 1089–1098. DOI: 10.1364/BOE.5.001089.
- [4] Hou C, Li J, Li J, et al. *In vivo* confocal microscopy of sub-basal corneal nerves and corneal densitometry after three kinds of refractive procedures for high myopia [J]. *Int Ophthalmol*, 2023, 43(3): 925–935. DOI: 10.1007/s10792-022-02494-0.
- [5] 李江峰, 侯辰亭, 李金键, 等. 高度近视眼 3 种角膜屈光手术后角膜神经修复情况及角膜光密度的对比研究[J]. *中华眼科杂志*, 2021, 57(4): 268–276. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20200612-00394.  
Li JF, Hou CT, Li JJ, et al. Corneal nerve repair and optical density in patients with high myopia after three kinds of corneal refractive surgery [J]. *Chin J Ophthalmol*, 2021, 57(4): 268–276. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20200612-00394.
- [6] 周京, 蒋浩, 龙秀, 等. V4c 型有晶状体眼后房型人工晶状体植入术后调节灵敏度的变化[J]. *中华实验眼科杂志*, 2025, 43(6): 522–527. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20240318-00076.  
Zhou J, Jiang H, Long X, et al. Changes in accommodative facility after posterior chamber implantation of V4c implantable collamer lens [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2025, 43(6): 522–527. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20240318-00076.
- [7] 王红霞, 周奇志, 高阳. 有晶状体眼后房型人工晶状体 V4c 植入术矫正高度近视的临床效果[J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2017, 19(8): 476–481. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2017.08.005.  
Wang HX, Zhou QZ, Gao Y. Clinical effects of a phakic posterior chamber implantable collamer lens with centra FLOW for correcting high myopia [J]. *Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci*, 2017, 19(8): 476–481. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2017.08.005.
- [8] Montés-Micó R, Ruiz-Mesa R, Rodríguez-Prats JL, et al. Posterior-chamber phakic implantable collamer lenses with a central port: a review[J/OL]. *Acta Ophthalmol*, 2021, 99(3): e288–e301 [2025-07-21]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32841517/>. DOI: 10.1111/aos.14599.
- [9] Garcia-De la Rosa G, Olivo-Payne A, Serna-Ojeda JC, et al. Anterior segment optical coherence tomography angle and vault analysis after toric and non-toric implantable collamer lens V4c implantation in patients with high myopia [J]. *Br J Ophthalmol*, 2018, 102(4): 544–548. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2017-310518.
- [10] Khalifa YM, Goldsmith J, Moshirfar M. Bilateral explantation of visian implantable collamer lenses secondary to bilateral acute angle closure resulting from a non-pupillary block mechanism [J]. *J Refract Surg*, 2010, 26(12): 991–994. DOI: 10.3928/1081597X-20100521-01.
- [11] 朱浩斌, 贾琰, 周激波. 有晶状体眼后房型人工晶状体植入术后前房角的变化及其相关因素[J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2014, 16(12): 708–711. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2014.12.002.  
Zhu HB, Jia Y, Zhou JB. The change in anterior chamber angle and related factors in collamer lens implantation [J]. *Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci*, 2014, 16(12): 708–711. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2014.12.002.
- [12] Guber I, Chokri L, Majo F. Preoperative sizing of the TICL (toric implantable collamer lens): the largest was too small! [J]. *Klin Monbl Augenheilkd*, 2012, 229(4): 457–458. DOI: 10.1055/s-0031-1299221.
- [13] Lee H, Kang D, Choi JY, et al. Analysis of pre-operative factors affecting range of optimal vaulting after implantation of 12.6-mm V4c implantable collamer lens in myopic eyes [J]. *BMC Ophthalmol*, 2018, 18(1): 163. DOI: 10.1186/s12886-018-0835-x.
- [14] 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]. *BMC Ophthalmol*, 2021, 21(1): 199. DOI: 10.1186/s12886-021-01963-x.
- [15] Srinivasan B, Leung HY, Cao H, et al. Modern phacoemulsification and intraocular lens implantation (refractive lens exchange) is safe and effective in treating high myopia[J]. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*, 2016, 5(6): 438-444. DOI: 10.1097/APO.0000000000000241.
- [16] 《有晶状体眼后房型人工晶状体植入术术前检查操作规范专家共识(2023)》专家组, 中国医药教育协会眼科影像与智能医疗分会, 国际转化医学会眼科专业委员会, 等. 有晶状体眼后房型人工晶状体植入术术前检查操作规范专家共识(2023)[J]. *中华实验眼科杂志*, 2023, 41(11): 1049-1058. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20230811-00068.
- Expert Workgroup of Expert consensus on standardized operation for preoperative examination before posterior chamber phakic intraocular lens implantation (2023), *Ophthalmic Imaging and Intelligent Medicine Branch of Chinese Medical Education Association, Ophthalmology Committee of International Association of Translational Medicine*, et al. Expert consensus on standardized practice for preoperative examination for posterior chamber phakic intraocular lens implantation (2023)[J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2023, 41(11): 1049-1058. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20230811-00068.
- [17] Pan AP, Wen LJ, Shao X, et al. A novel ophthalmic viscosurgical device-free phakic intraocular lens implantation makes myopic surgery safer[J]. *Eye Vis (Lond)*, 2020, 7: 18. DOI: 10.1186/s40662-020-00185-4.
- [18] Garcia-De la Rosa G, Olivo-Payne A, Serna-Ojeda JC, et al. Anterior segment optical coherence tomography angle and vault analysis after toric and non-toric implantable collamer lens V4c implantation in patients with high myopia[J]. *Br J Ophthalmol*, 2018, 102(4): 544-548. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2017-310518.
- [19] Fernandes P, González-Méjome JM, Madrid-Costa D, et al. Implantable collamer posterior chamber intraocular lenses: a review of potential complications[J]. *J Refract Surg*, 2011, 27(10): 765-776. DOI: 10.3928/1081597X-20110617-01.
- [20] Steinwender G, Varna-Tigka K, Shajari M, et al. Anterior subcapsular cataract caused by forceful irrigation during implantation of a posterior chamber phakic intraocular lens with a central hole[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2017, 43(7): 969-974. DOI: 10.1016/j.jcrs.2017.03.045.
- [21] 崔同峰, 周进, 王铮. ICL 植入术后异常拱高相关影响因素[J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2019, 21(7): 534-539. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2019.07.009.
- Cui TF, Zhou J, Wang Z. Retrospective analysis of factors affecting abnormal vault after ICL implantation[J]. *Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci*, 2019, 21(7): 534-539. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2019.07.009.
- [22] Wang Q, Ding X, Savini G, et al. Anterior chamber depth measurements using Scheimpflug imaging and optical coherence tomography: repeatability, reproducibility, and agreement [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2015, 41(1): 178-185. DOI: 10.1016/j.jcrs.2014.04.038.
- [23] 张波, 王浩, 庞辰久, 等. Scansys, Pentacam, CASIA 和 Arcscan 测量近视眼 ICL 植入术后拱高比较[J]. *中华实验眼科杂志*, 2024, 42(4): 354-360. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20221023-00492.
- Zhang B, Wang H, Pang CJ, et al. Comparison of vault measurements by Scansys, Pentacam, CASIA and Arcscan after ICL implantation[J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2024, 42(4): 354-360. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20221023-00492.
- [24] 陈茜, 谭维娜, 曾庆延. 高度近视植入 ICL V4 和 ICL V4c 的两年拱高观察[J]. *武汉大学学报(医学版)*, 2020, 41(1): 106-109. DOI: 10.14188/j.1671-8852.2019.0287.
- Chen Q, Tan WN, Zeng QY. Comparison on vault changes after V4 and V4c posterior chamber intraocular lens implantation for the correction of high myopia[J]. *Med J Wuhan Univ*, 2020, 41(1): 106-109. DOI: 10.14188/j.1671-8852.2019.0287.
- [25] Cao X, Wu W, Wang Y, et al. Comparison over time of vault in Chinese eyes receiving implantable contact lenses with or without a central hole[J]. *Am J Ophthalmol*, 2016, 172: 111-117. DOI: 10.1016/j.ajo.2016.09.016.
- [26] Gimbel HV, LeClair BM, Jabo B, et al. Incidence of implantable collamer lens-induced cataract[J]. *Can J Ophthalmol*, 2018, 53(5): 518-522. DOI: 10.1016/j.jcjo.2017.11.018.
- [27] 杨治坤, 罗岩. ICL 植入术后早期非计划再次手术临床分析[J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2022, 24(10): 746-751. DOI: 10.3760/cma.j.cn115909-20211227-00504.
- Yang ZK, Luo Y. Clinical analysis of unplanned reoperation following implantable collamer lens implantation in the early post-operative period [J]. *Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci*, 2022, 24(10): 746-751. DOI: 10.3760/cma.j.cn115909-20211227-00504.
- [28] Chen X, Miao H, Naidu RK, et al. Comparison of early changes in and factors affecting vault following posterior chamber phakic implantable collamer lens implantation without and with a central hole (ICL V4 and ICL V4c)[J]. *BMC Ophthalmol*, 2016, 16(1): 161. DOI: 10.1186/s12886-016-0336-8.
- [29] García-Feijoó J, Alfaro IJ, Cuiña-Sardiña R, et al. Ultrasound biomicroscopy examination of posterior chamber phakic intraocular lens position[J]. *Ophthalmology*, 2003, 110(1): 163-172. DOI: 10.1016/s0161-6420(02)01449-5.
- [30] Kojima T, Yokoyama S, Ito M, et al. Optimization of an implantable collamer lens sizing method using high-frequency ultrasound biomicroscopy[J]. *Am J Ophthalmol*, 2012, 153(4): 632-637, 637.e1. DOI: 10.1016/j.ajo.2011.06.031.
- [31] Kamiya K, Shimizu K, Kawamorita T. Changes in vaulting and the effect on refraction after phakic posterior chamber intraocular lens implantation[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2009, 35(9): 1582-1586. DOI: 10.1016/j.jcrs.2009.03.052.
- [32] Nakamura T, Isogai N, Kojima T, et al. Implantable collamer lens sizing method based on swept-source anterior segment optical coherence tomography[J]. *Am J Ophthalmol*, 2018, 187: 99-107. DOI: 10.1016/j.ajo.2017.12.015.
- [33] Igarashi A, Shimizu K, Kato S. Assessment of the vault after implantable collamer lens implantation using the KS formula[J]. *J Refract Surg*, 2021, 37(9): 636-641. DOI: 10.3928/1081597X-20210610-06.
- [34] Chen X, Han T, Zhao W, et al. Effect of the difference between the white-to-white and sulcus-to-sulcus on vault and the related factors after ICL implantation[J]. *Ophthalmol Ther*, 2021, 10(4): 947-955. DOI: 10.1007/s40123-021-00386-7.
- [35] Matarazzo F, Day AC, Fernandez-Vega Cueto L, et al. Vertical implantable collamer lens (ICL) rotation for the management of high vault due to lens oversizing [J]. *Int Ophthalmol*, 2018, 38(6): 2689-2692. DOI: 10.1007/s10792-017-0757-2.
- [36] 王静, 沙玛丽·哈力木别克, 陈利群, 等. ICL 植入术后拱高与其相关因素的关联 meta 分析[J]. *中华实验眼科杂志*, 2025, 43(12): 1140-1150. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20240121-00023.
- Wang J, Shamali H, Chen LQ, et al. Association between vault and its related factors following posterior chamber phakic implantable collamer lens V4c implantation: a meta-analysis[J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2025, 43(12): 1140-1150. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20240121-00023.

(收稿日期:2025-09-26 修回日期:2026-04-25)

(本文编辑:施晓萌 骆世平)