

# 中央孔型有晶状体眼人工晶状体植入术后房角结构变化及其影响因素分析

武燕苹<sup>1,2</sup>, 郑锦豪<sup>1,2</sup>, 付宇姗<sup>1</sup>, 姚东奇<sup>1</sup>, 李颖<sup>1</sup>, 宋武莲<sup>1</sup>

引用:武燕苹,郑锦豪,付宇姗,等. 中央孔型有晶状体眼人工晶状体植入术后房角结构变化及其影响因素分析. 国际眼科杂志, 2026,26(5):896-904.

作者单位:<sup>1</sup>(150086)中国黑龙江省哈尔滨市,哈尔滨医科大学附属第二医院眼科;<sup>2</sup>(150081)中国黑龙江省哈尔滨市,哈尔滨医科大学

作者简介:武燕苹,女,在读硕士研究生,研究方向:近视与青光眼。

通讯作者:宋武莲,女,博士,教授,主任医师,博士研究生导师,研究方向:近视与青光眼. [songwulian@163.com](mailto:songwulian@163.com)

收稿日期:2025-10-14 修回日期:2026-03-30

## 摘要

**目的:**分析中央孔型有晶状体眼人工晶状体(ICL V4c)植入术后房角结构变化及其与术前眼前段解剖参数的相关性。

**方法:**回顾性病例研究。收集2024年7月至2024年11月于哈尔滨医科大学附属第二医院眼科屈光中心行ICL V4c植入术的近视或者近视合并散光的患者。记录手术前后裸眼视力、最佳矫正视力、眼压、前房角(ACA)、白到白距离(WTW)、前房深度(ACD)、角到角距离(ATA)、水平沟到沟距离(HSTS)、垂直沟到沟距离(VSTS)、晶状体上升高度(CLR)、瞳孔直径(PD)、距离巩膜突750 μm处虹膜厚度(IT750)、最大虹膜厚度(ITM)、虹膜曲率(I-Curv)、虹膜横截面积(I-Area)、颞、鼻、上、下四方位的房角开放距离(AOD750)、小梁虹膜夹角(TIA750)和小梁虹膜面积(TISA750)以及术后各时间点拱高。

**结果:**本研究共纳入接受ICL V4c植入术的近视或近视合并散光患者40例79眼,其中男10例,女30例,平均年龄为24.73±3.79岁。与术前相比,术后1 mo AOD750、TIA750、TISA750在颞、鼻、上、下四个方位的房角参数均出现显著减小( $P<0.01$ )。术后1 d拱高为0.49±0.1、术后1 wk为0.43±0.14、术后1 mo为0.41±0.14 mm( $P<0.001$ )。相关性分析表明,术后房角状态受到前房空间(ACD, ATA, HSTS, VSTS)、虹膜形态(I-Area, IT750)、瞳孔大小(PD)及手术因素(ICL尺寸、早期拱高)的共同影响,且不同方位的影响因素组合存在差异。回归分析显示:ACD与术后各房角参数呈正相关( $P<0.05$ );IT750与颞、下方房角呈负相关( $P<0.05$ );I-Area与颞侧AOD750、TISA750均呈正相关(均 $P<0.05$ );PD与颞侧TIA750、鼻侧AOD750均呈负相关(均 $P<0.05$ )。

**结论:**ICL V4c植入术后房角普遍变窄,其变化与多项术前眼前段解剖参数呈显著相关。术前综合评估ACD、PD及IT750可能有助于评估术后房角变化风险并提高手术

安全性。

**关键词:**中央孔型有晶状体眼人工晶状体植入术;房角参数;前房深度;虹膜厚度;瞳孔直径

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2026.5.27

## Analysis of anterior chamber angle structural changes and associated factors after implantable collamer lens with central-port implantation

Wu Yanping<sup>1,2</sup>, Zheng Jinhao<sup>1,2</sup>, Fu Yushan<sup>1</sup>, Yao Dongqi<sup>1</sup>, Li Ying<sup>1</sup>, Song Wulian<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Ophthalmology, the 2<sup>nd</sup> Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin 150086, Heilongjiang Province, China;

<sup>2</sup>Harbin Medical University, Harbin 150081, Heilongjiang Province, China

**Correspondence to:** Song Wulian. Department of Ophthalmology, the 2<sup>nd</sup> Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin 150086, Heilongjiang Province, China. [songwulian@163.com](mailto:songwulian@163.com)

Received:2025-10-14 Accepted:2026-03-30

## Abstract

• **AIM:** To analyze changes in the anterior chamber angle structure in patients with implantable collamer lens with central-port (ICL V4c) implantation, and to investigate their associations with preoperative anterior segment anatomical parameters.

• **METHODS:** Retrospective case study. Patients with myopia or myopia combined with astigmatism who underwent ICL V4c implantation in the Refractive Surgery Center of the Department of Ophthalmology, the 2<sup>nd</sup> Affiliated Hospital of Harbin Medical University between July 2024 and November 2024 were recruited. Preoperative and postoperative uncorrected visual acuity, best-corrected visual acuity, intraocular pressure, anterior chamber angle (ACA), white-to-white distance (WTW), anterior chamber depth (ACD), angle to angle distance (ATA), horizontal sulcus-to-sulcus distance (HSTS), vertical sulcus-to-sulcus distance (VSTS), crystalline lens rise (CLR), pupil diameter (PD), iris thickness at 750 μm from the scleral spur (IT750), maximal iris thickness (ITM), iris curvature (I-Curv), and iris cross-sectional area (I-Area), angle opening distance (AOD750), the trabecular-iris angle (TIA750) and the trabecular-iris space area (TISA750) in the temporal, nasal, superior, and inferior directions, as well as the vault at various

postoperative time points were measured.

• **RESULTS:** The study involved 40 patients (79 eyes) with myopia or myopia combined with astigmatism who underwent ICL V4c implantation (10 males and 30 females) with the mean age of  $24.73 \pm 3.79$  y. Compared with preoperative measurements, at 1 mo postoperatively, the AOD750, TIA750, and TISA750 parameters at the four angles (temporal, nasal, superior, and inferior) all showed a significant reduction ( $P < 0.01$ ). Statistically significant differences in vault were observed at postoperative 1d ( $0.49 \pm 0.1$ ), postoperative 1 wk ( $0.43 \pm 0.14$ ), and postoperative 1 mo ( $0.41 \pm 0.14$ ) (all  $P < 0.001$ ). Correlation analysis indicated that the postoperative state of the anterior chamber angle was jointly influenced by anterior chamber parameters (ACD, ATA, HSTS, VSTS), iris morphology (I-Area, IT750), pupil size (PD), and surgical factors (ICL size, early vault), and that the combination of influencing factors varied across different orientations. Regression analysis showed that ACD was positively correlated with all postoperative anterior chamber angle parameters ( $P < 0.05$ ). IT750 exhibited negative correlations with the temporal and inferior angles ( $P < 0.05$ ). I-Area was positively correlated with temporal AOD750 and TISA750 ( $P < 0.05$ ), and PD had negative correlations with temporal TIA750 and nasal AOD750 ( $P < 0.05$ ).

• **CONCLUSION:** Postoperative anterior chamber angle narrowing is a common phenomenon after ICL V4c implantation. The degree of change exhibits a significant correlation with multiple preoperative anterior segment anatomical parameters. Preoperative comprehensive assessment of ACD, PD, and IT750 may facilitate the evaluation of the risk of postoperative angle changes and the enhancement of surgical safety.

• **KEYWORDS:** implantable collamer lens with central-port implantation; anterior chamber angle parameters; anterior chamber depth; iris thickness; pupil diameter

**Citation:** Wu YP, Zheng JH, Fu YS, et al. Analysis of anterior chamber angle structural changes and associated factors after implantable collamer lens with central-port implantation. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2026,26(5):896-904.

## 0 引言

中央孔型有晶状体眼人工晶状体 (implantable collamer lens with central port, ICL V4c) 因其具有安全性、有效性、稳定性、可逆性等优势,成为许多中高度近视患者的首选方案<sup>[1-2]</sup>。拱高是指植入晶状体后表面中心到晶状体前表面顶点的垂直距离,是评估术后安全性的重要指标。过高或过低的拱高可能引发一系列不良事件,如青光眼、房角闭塞、白内障、葡萄膜炎等<sup>[3-6]</sup>。目前认为理想的拱高为 250-750  $\mu\text{m}$ ,发生术后并发症的风险较低<sup>[7]</sup>。既往的研究主要集中于建立预测公式选择合适的 ICL 尺寸,从而获得理想的拱高,模型的有效性也得到了验证<sup>[8-10]</sup>。

然而,ICL 植入术通过在虹膜与晶状体之间的后房区植入人工晶状体来改变屈光状态,作为一个新引入的占位结构,可能对周边虹膜产生前向推挤力,影响房水引流通

路,增加房角关闭或周边黏连的风险<sup>[11]</sup>。因此,仅关注拱高并不足以全面评估 ICL 植入后的远期安全性。目前,关于 ICL 术后房角结构变化规律及其影响因素的系统性研究仍相对缺乏。本研究通过系统性测量与分析,首先明确 ICL 植入术后各方位(颞、鼻、上、下)房角参数的定量变化,并探讨术前眼前段参数、术后拱高及 ICL 尺寸与房角变化的相关性,识别影响术后房角开放程度的关键因素。期望通过本研究为临床手术安全性的提升提供新的视角与参考。

## 1 对象和方法

**1.1 对象** 回顾性病例研究。收集 2024 年 7 月至 2024 年 11 月于哈尔滨医科大学附属第二眼科屈光中心行 ICL V4c 植入术的近视或者近视合并散光的患者。纳入标准:(1) 年龄 18-45 岁;(2) 球镜 -0.50--18.00 D,柱镜  $\leq -5.00$  D,每年屈光度数变化  $\leq 0.50$  D 至少 2 a;(3) 角膜内皮细胞计数  $\geq 2000$  cells/ $\text{mm}^2$ ,细胞形态正常;(4) 房角开放,前房深度  $\geq 2.80$  mm;(5) 眼压 10-21 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa);(6) 既往无其他眼部手术史。排除标准:(1) 眼部有活动性感染或炎性反应;(2) 重度干眼;(3) 严重眼底病及未控制的青光眼;(4) 先天性眼部发育异常、眼外伤、虹膜睫状体炎等眼部疾病;(5) 严重甲状腺功能亢进及突眼且病情尚未稳定;(6) 严重焦虑、抑郁等心理、精神疾病;(7) 无法配合检查和手术的疾病,如癫痫、癔症等疾病;(8) 无法完整完成术后的随访;(9) 任何可能影响瞳孔运动或光感的眼部或全身性疾病或异常。本研究取得哈尔滨医科大学附属第二医院医学伦理委员会审查批准(批准号:YJSKY2024-138),所有参与者均签署知情同意书。

## 1.2 方法

**1.2.1 术前常规检查** 标准对数视力表检查远距离裸眼视力及最佳矫正视力,小瞳和睫状肌麻痹下的主、客观验光;非接触式眼压计测量眼压;裂隙灯显微镜检查眼前段结构,观察角膜内皮、晶状体透明度、有无白内障、虹膜形态及有无前房炎症;眼底照相机评估黄斑区、周边视网膜及视盘情况,排查视网膜裂孔、变性及出血等病变;角膜内皮显微镜检查角膜内皮细胞计数及细胞形态。

**1.2.2 手术方法** 所有患者均由同一名经验丰富的医生设计手术方案并进行手术植入 ICL V4c。均基于厂商的尺寸推荐表(制造商提供的列线图为 12.1, 12.6, 13.2 或 13.7 mm),结合患者术前屈光度数、眼生物学参数,使用制造商提供的在线计算器系统(<https://evo-ocos.staarag.ch>)进行 ICL 屈光度数和尺寸的选择,并进行位置设定。术前连续 2 d 给予氧氟沙星滴眼液滴眼,每天 8 次。散光矫正型 ICL (TICL) 术眼于术前进行角膜散光轴位标记,术前 40 min 使用复方托吡卡胺滴眼液散瞳,并充分冲洗结膜囊。所有手术均由同一名经验丰富的术者完成,采用统一的 12:00 位透明角膜切口(约 2.8 mm)。将 ICL/TICL 置于预装系统内缓慢注入前房,待人工晶状体充分展开后注入透明质酸钠,并将 4 个襻调整至虹膜睫状沟后。TICL 根据术前定位图及角膜标记调整至计划轴位。术中充分冲洗黏弹剂并水密切口,术后即刻给予妥布霉素地塞米松眼膏并行眼贴覆盖。

**1.2.3 观察指标** 术后 1 d, 1 wk, 1 mo 检查裸眼视力、非接触眼压、拱高以及裂隙灯显微镜下检查眼前节,术后 1 mo 记录最佳矫正视力。术前,术后 1 mo,由同一位经验丰富

的医师在稳定光照条件下使用眼前节分析仪测量角膜前、后表面形态以及前房角(anterior chamber angle, ACA)、白到白距离(white to white distance, WTW);使用超声生物显微镜测量前房深度(anterior chamber depth, ACD)、角到角距离(angle to angle distance, ATA)、水平沟到沟距离(horizontal sulcus-to-sulcus distance, HSTS)、垂直沟到沟距离(vertical sulcus-to-sulcus distance, VSTS)、晶状体上升高度(crystalline lens rise, CLR)、瞳孔直径(pupil diameter, PD)、距离巩膜突750 μm处虹膜厚度(iris thickness at 750 μm from the scleral spur, IT750)、最大虹膜厚度(maximal iris thickness, ITM)、虹膜曲率(iris curvature, I-Curv)、虹膜横截面积(iris cross-sectional area, I-Area),见图1。将超声生物显微镜获取图像导入电脑,使用Image J软件进行分析房角开放距离(angle opening distance, AOD750)、小梁虹膜夹角(trabecular-iris angle, TIA750)和小梁虹膜面积(trabecular-iris area, TISA750),见图2。各项指标均重复测量3次,取平均值。

统计学分析:采用SPSS 27.0软件对数据进行统计学分析。采用夏皮罗-威尔克法检验数据的正态性,符合正态分布的计量资料采用均数±标准差表示,手术前后各个方位房角变化采用配对样本 *t* 检验;重复测量数据采用重

复测量方差分析,进一步两两比较采用LSD-*t* 检验;不符合正态分布的计量资料采用  $M(P_{25}, P_{75})$  描述,手术前后比较采用Wilcoxon符号秩检验;重复测量数据采用Friedman检验,进一步两两比较采用Bonferroni法(校正后检验水准为  $P < 0.008$ )。采用Pearson相关分析术后不同方位房角参数与术前参数和拱高的相关性;采用多元线性回归分析术后不同方位房角的影响因素。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 纳入患者术前一般资料** 本研究共纳入接受ICL V4c植入术的近视或近视合并散光患者40例79眼,其中男10例,女30例,平均年龄为  $24.73 \pm 3.79$  岁。植入的ICL V4c尺寸分布为12.1 mm(2眼)、12.6 mm(52眼)、13.2 mm(23眼)、13.7 mm(2眼),纳入患者术前一般资料见表1。

**2.2 纳入患者术后拱高和手术前后视力及眼压比较** 纳入患者手术前后裸眼视力和最佳矫正视力及眼压比较差异均有统计意义( $P < 0.001$ ),术后各时间点拱高比较差异有统计意义( $P < 0.001$ ),进一步两两比较结果见表2。2例患者在术后早期出现一过性眼压升高,给予局部降眼压药物治疗后,眼压恢复正常。术后1 mo眼压均恢复在正常范围内,未观察到持续性的高眼压。

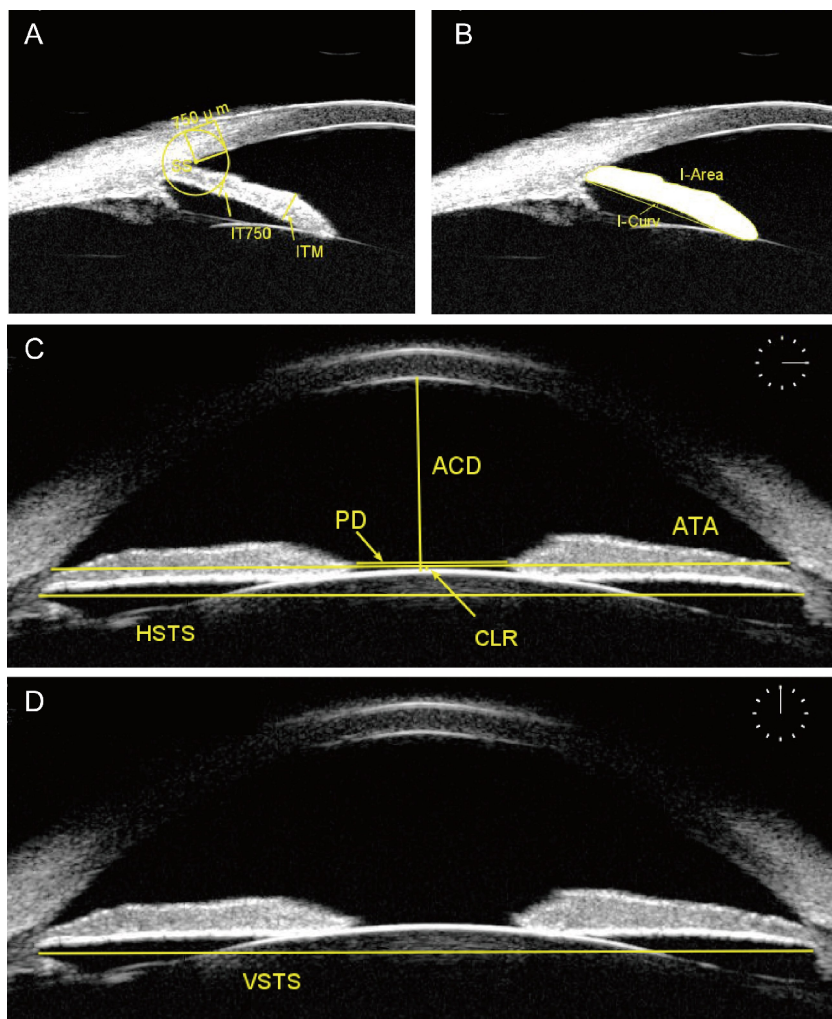


图1 超声生物显微镜检查图像相关参数示意图 A:IT750:巩膜突为中心半径为750 μm的圆与虹膜前表面的交点到虹膜后表面的最短距离;ITM:距离巩膜突最大虹膜厚度;B:I-Area:虹膜全长的累计横截面积;I-Curv:虹膜后表面(色素上皮层)上最凸点,到其根部附着点与瞳孔缘连线的垂直距离;C:ACD:角膜内皮中心至晶状体前表面的垂直距离;ATA:鼻侧和颞侧房角隐窝之间的距离;PD:虹膜横截面中瞳孔边缘之间的最短距离;HSTS:水平睫状沟到睫状沟之间的距离;CLR:晶状体前表面顶点至房角隐窝连线的垂直距离;D:VSTS:垂直睫状沟到睫状沟的距离。

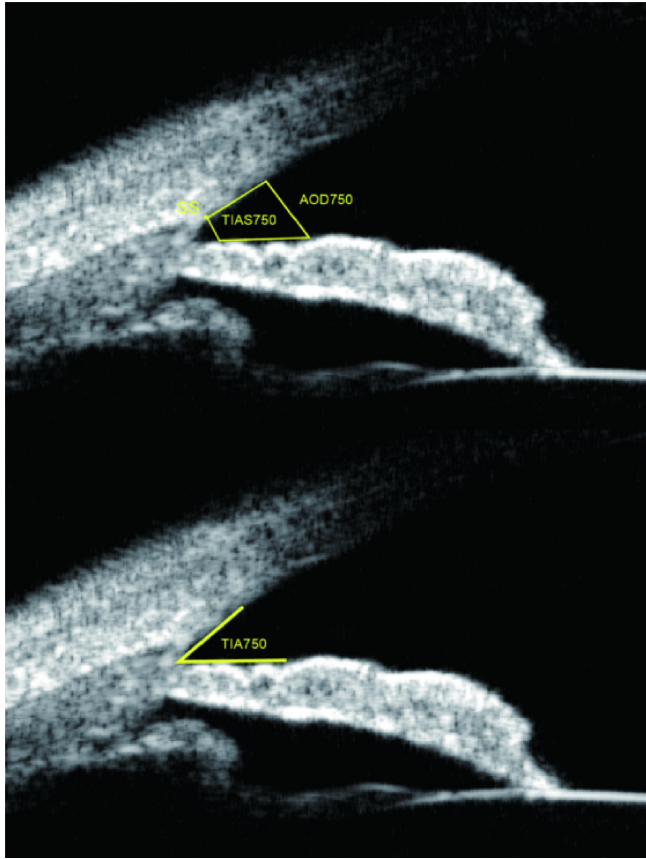


图2 房角参数示意图 AOD750:距离巩膜突 750 μm 的点到虹膜前表面的垂直距离;TIA750:前房角隐窝处截取两条经过 AOD750 终点的直线形成的夹角;TISA750:由 AOD750 连线和巩膜突指向虹膜的垂直于角膜的连线所划定的前房面积。

表 1 纳入患者术前一般资料 (n=79,  $\bar{x} \pm s$ )

参数	数值
年龄(岁)	24.73±3.79
ICL尺寸(mm)	12.78±0.31
WTW(mm)	11.60±0.33
ACD(mm)	3.22±0.23
ACA(mm)	37.77±4.97
ATA(mm)	11.32±0.42
CRL(mm)	0.44±0.14
STS(mm)	11.84±0.41
VSTS(mm)	12.28±0.46
PD(mm)	3.79±0.89
I-Area(mm)	颞侧 1.99±0.31 鼻侧 1.94±0.29 下方 2.19±0.31 上方 2.17±0.33
I-Curv(mm)	颞侧 -0.04±0.15 鼻侧 -0.03±0.13 下方 -0.03±0.13 上方 -0.02±0.13
IT750(mm)	颞侧 0.46±0.07 鼻侧 0.46±0.07 下方 0.46±0.07 上方 0.45±0.07
ITM(mm)	颞侧 0.64±0.06 鼻侧 0.68±0.06 下方 0.66±0.06 上方 0.72±0.06

表 2 纳入患者术后拱高和手术前后视力及眼压比较

参数	眼数	术前	术后 1 d	术后 1 wk	术后 1 mo	$\chi^2/Z/F$	P
裸眼视力[M( $P_{25}, P_{75}$ ), LogMAR]	79	1.3(1.2, 1.4)	0.0(-0.1, 0.0) <sup>b</sup>	-0.1(-0.1, 0.0) <sup>b, d</sup>	-0.1(-0.1, 0.0) <sup>b, d</sup>	197.86	<0.001
最佳矫正视力[M( $P_{25}, P_{75}$ ), LogMAR]	79	0.0(0.0, 0.0)			-0.1(-0.1, 0.0)	-7.50	<0.001
拱高( $\bar{x} \pm s$ , mm)	79		0.49±0.10	0.43±0.14 <sup>c</sup>	0.41±0.14 <sup>c, e</sup>	76.98	<0.001
眼压( $\bar{x} \pm s$ , mmHg)	79	15.57±2.45	16.96±2.80 <sup>a</sup>	18.47±3.87 <sup>a, c</sup>	15.11±2.30 <sup>a, c, e</sup>	35.01	<0.001

注:<sup>a</sup>P<0.05 vs 术前;<sup>b</sup>P<0.008 vs 术前;<sup>c</sup>P<0.05 vs 术后 1 d;<sup>d</sup>P<0.008 vs 术后 1 d;<sup>e</sup>P<0.05 vs 术后 1 wk。

2.3 纳入患者手术前后房角参数比较 与术前相比,术后 1 mo AOD750、TIA750、TISA750 在颞、鼻、上、下四个方位的房角参数均出现显著减小,差异均有统计学意义(P<0.001),见表 3。

2.4 术前指标与术后 1 mo 各方位房角参数的相关性 Pearson 相关分析结果显示:植入 ICL 尺寸、术前 ACD、ACA、HSTS、VSTS、颞侧 I-Area 与颞侧 AOD750、颞侧 TIA750、颞侧 TISA750 均呈正相关(P<0.05),CLR、PD、颞侧 IT750 与颞侧 AOD750、颞侧 TIA750、颞侧 TISA750 均呈负相关(P<0.05);植入 ICL 尺寸、术前 ACD、ACA、ATA、HSTS、VSTS、鼻侧 I-Area 与鼻侧 AOD750、鼻侧 TIA750、鼻侧 TISA750 均呈正相关(P<0.05),PD、鼻侧 IT750 与鼻侧 AOD750、鼻侧 TIA750、鼻侧 TISA750 均呈负相关(P<0.05),CLR 与鼻侧 AOD750 呈负相关(P<0.05);植入 ICL 尺寸、术前 ACD 与下方 AOD750、下方 TIA750、下方 TISA750 均呈正相关(P<0.05),下方 IT750 与下方 AOD750、下方 TIA750、下方 TISA750 均呈负相关(P<

0.05);ATA、HSTS、VSTS、下方 I-Area 与下方 AOD750 和下方 TISA750 呈正相关(P<0.05),PD 与下方 AOD750 和下方 TISA750 呈负相关(P<0.05);植入 ICL 尺寸、术前 ACD、VSTS 与上方 AOD750、上方 TIA750、上方 TISA750 均呈正相关(P<0.05),HSTS 与上方 AOD750 和上方 TISA750 呈正相关(P<0.05),术后拱高、上方 IT750 与上方 AOD750 和上方 TISA750 呈负相关(P<0.05),见表 4-7。相关性分析表明,术后房角状态受到前房空间(ACD、ATA、HSTS、VSTS)、虹膜形态(I-Area、IT750)、瞳孔大小(PD)及手术因素(ICL 尺寸、早期拱高)的共同影响,且不同方位的影响因素组合存在差异。

2.5 术前参数对术后各方位房角参数影响的多元线性回归分析 多元线性回归分析发现术前 ACD、颞侧 IT750 对术后颞侧 AOD750、颞侧 TIA750、颞侧 TISA750 均有影响(P<0.05),颞侧 I-Area 对术后颞侧 AOD750 和颞侧 TISA750 有影响(P<0.05),PD 对术后颞侧 TIA750 有影响(P<0.05);术前 ACD 对术后鼻侧 AOD750、鼻侧 TIA750、

表3 纳入患者手术前后房角参数比较

( $n=79, \bar{x} \pm s, \text{mm}$ )

参数		术前	术后 1 mo	<i>t</i>	<i>P</i>
AOD750	颞侧	0.72±0.21	0.34±0.13	15.580	<0.001
	鼻侧	0.65±0.20	0.32±0.12	15.249	<0.001
	下方	0.65±0.16	0.36±0.10	14.337	<0.001
	上方	0.64±0.18	0.30±0.10	16.774	<0.001
TIA750	颞侧	38.70±7.12	21.61±7.03	16.726	<0.001
	鼻侧	36.25±7.09	17.23±6.01	23.937	<0.001
	下方	35.58±6.45	22.64±5.66	15.064	<0.001
	上方	35.74±6.40	18.99±5.97	19.018	<0.001
TISA750	颞侧	0.33±0.11	0.16±0.06	14.913	<0.001
	鼻侧	0.30±0.10	0.14±0.06	14.371	<0.001
	下方	0.30±0.08	0.16±0.05	13.970	<0.001
	上方	0.29±0.09	0.13±0.04	14.454	<0.001

表4 术前指标与术后 1 mo 颞侧房角参数的相关性分析结果

指标	颞侧 AOD750		颞侧 TIA750		颞侧 TISA750		
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	
年龄	-0.144	0.205	-0.169	0.136	-0.121	0.289	
ICL 尺寸	0.271	0.016	0.287	0.010	0.295	0.008	
WTW	0.025	0.830	0.041	0.722	0.078	0.495	
ACD	0.440	<0.01	0.382	0.001	0.500	<0.01	
ACA	0.285	0.011	0.245	0.030	0.303	0.007	
ATA	0.097	0.394	0.086	0.451	0.170	0.135	
CLR	-0.376	0.001	-0.361	0.001	-0.363	0.001	
HSTS	0.269	0.017	0.263	0.019	0.307	0.006	
VSTS	0.249	0.027	0.263	0.019	0.264	0.019	
PD	-0.371	0.001	-0.377	0.001	-0.355	0.001	
颞侧	I-Area	0.285	0.011	0.269	0.016	0.314	0.005
	I-Curv	-0.164	0.149	-0.139	0.221	-0.218	0.053
	IT750	-0.381	0.001	-0.372	0.001	-0.389	<0.01
	ITM	-0.141	0.216	-0.142	0.212	-0.117	0.306
拱高	术后 1 d	-0.052	0.650	-0.078	0.496	-0.024	0.833
	术后 1 wk	-0.036	0.756	-0.06	0.600	0.001	0.992
	术后 1 mo	0.019	0.867	-0.009	0.939	0.056	0.625

表5 术前指标与术后 1 mo 鼻侧房角参数的相关性分析结果

指标	鼻侧 AOD750		鼻侧 TIA750		鼻侧 TISA750		
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	
年龄	-0.065	0.567	-0.041	0.718	-0.069	0.548	
ICL 尺寸	0.271	0.016	0.289	0.01	0.293	0.009	
WTW	0.155	0.172	0.193	0.089	0.187	0.098	
ACD	0.488	<0.01	0.458	<0.01	0.513	<0.01	
ACA	0.245	0.030	0.232	0.040	0.230	0.041	
ATA	0.225	0.046	0.24	0.033	0.265	0.018	
CLR	-0.233	0.039	-0.194	0.087	-0.206	0.068	
HSTS	0.301	0.007	0.305	0.006	0.313	0.005	
VSTS	0.297	0.008	0.301	0.007	0.300	0.007	
PD	-0.331	0.003	-0.303	0.007	-0.312	0.005	
鼻侧	I-Area	0.295	0.008	0.277	0.013	0.288	0.010
	I-Curv	-0.206	0.068	-0.194	0.087	-0.205	0.070
	IT750	-0.284	0.011	-0.283	0.012	-0.293	0.009
	ITM	-0.200	0.077	-0.207	0.068	-0.214	0.058
拱高	术后 1 d	-0.027	0.813	-0.076	0.505	-0.026	0.821
	术后 1 wk	0.056	0.624	-0.004	0.975	0.079	0.486
	术后 1 mo	0.083	0.468	0.038	0.742	0.102	0.372

表6 术前指标与术后1 mo 下方房角参数的相关性分析结果

指标	下方 AOD750		下方 TIA750		下方 TISA750		
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	
年龄	-0.169	0.136	-0.137	0.229	-0.151	0.184	
ICL 尺寸	0.319	0.004	0.255	0.023	0.316	0.005	
WTW	0.183	0.106	0.092	0.418	0.227	0.044	
ACD	0.498	<0.01	0.410	<0.01	0.529	<0.01	
ACA	0.139	0.223	0.091	0.425	0.156	0.171	
ATA	0.248	0.028	0.193	0.089	0.283	0.011	
CLR	-0.193	0.089	-0.141	0.215	-0.204	0.072	
HSTS	0.279	0.013	0.203	0.073	0.313	0.005	
VSTS	0.260	0.021	0.196	0.084	0.291	0.009	
PD	-0.241	0.033	-0.196	0.083	-0.257	0.022	
下方	I-Area	0.245	0.030	0.175	0.122	0.287	0.010
	I-Curv	-0.076	0.504	-0.087	0.447	-0.051	0.657
	IT750	-0.353	0.001	-0.319	0.004	-0.340	0.002
	ITM	0.013	0.908	0.027	0.814	-0.021	0.855
拱高	术后 1 d	-0.126	0.268	-0.111	0.330	-0.134	0.237
	术后 1 wk	-0.087	0.447	-0.123	0.281	-0.079	0.492
	术后 1 mo	-0.095	0.406	-0.124	0.277	-0.079	0.486

表7 术前指标与术后1 mo 上方房角参数的相关性分析结果

指标	上方 AOD750		上方 TIA750		上方 TISA750		
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	
年龄	0.028	0.809	0.065	0.567	0.076	0.505	
ICL 尺寸	0.254	0.024	0.232	0.04	0.272	0.015	
WTW	-0.012	0.919	-0.044	0.697	0.012	0.913	
ACD	0.339	0.002	0.311	0.005	0.346	0.002	
ACA	0.126	0.270	0.092	0.422	0.076	0.506	
ATA	0.138	0.225	0.139	0.223	0.154	0.175	
CLR	-0.100	0.382	-0.083	0.466	-0.063	0.581	
HSTS	0.245	0.030	0.219	0.053	0.253	0.024	
VSTS	0.325	0.003	0.286	0.011	0.340	0.002	
PD	-0.211	0.062	-0.212	0.061	-0.220	0.052	
上方	I-Area	0.174	0.126	0.164	0.148	0.179	0.114
	I-Curv	0.023	0.843	0.033	0.773	-0.030	0.790
	IT750	-0.235	0.037	-0.217	0.055	-0.250	0.026
	ITM	0.049	0.666	0.050	0.661	0.044	0.702
拱高	术后 1 d	-0.222	0.049	-0.202	0.074	-0.239	0.034
	术后 1 wk	-0.207	0.067	-0.211	0.062	-0.215	0.057
	术后 1 mo	-0.189	0.094	-0.186	0.101	-0.196	0.083

鼻侧 TISA750 均有影响 ( $P < 0.05$ ), PD 对术后鼻侧 AOD750 有影响 ( $P < 0.05$ ); 术前 ACD 和下方 IT750 对术后下方 AOD750、下方 TIA750、下方 TISA750 均有影响 ( $P < 0.05$ ); 术前 ACD 对术后上方 AOD750、上方 TIA750、上方 TISA750 均有影响 ( $P < 0.05$ ), 见表 8。

### 3 讨论

本研究的回顾性分析结果显示, ICL V4c 植入术后前房角参数较术前普遍减小, 与既往研究结果一致<sup>[12-14]</sup>。进一步分析发现, 在遵循厂家推荐的 ICL 尺寸选择原则并以理想拱高范围为目标的前提下, 术后房角结构的改变主要与术前眼前段解剖参数相关, 尤其是 ACD、IT750、I-Area 和 PD, 而术后拱高和植入 ICL 尺寸虽与部分房角

参数存在一定相关性, 但在多元线性回归分析中未表现差异。本研究通过量化评估不同术前眼前段解剖参数对术后不同方位房角变化程度的相对贡献, 从而补充了既往研究中对房角变窄个体差异解释不足的问题。

近年来的研究亦报道了类似的房角结构改变趋势。Li 等<sup>[15]</sup>前瞻性研究中应用前节 OCT 观察 ICL V4c 植入术后房角变化, 发现术后 3 mo AOD750 及 TISA750 较术前显著减小, 且变化在早期较为明显。Zhang 等<sup>[16]</sup>研究进一步指出, 在不同调节状态下房角参数亦存在动态变化, 但整体趋势仍表现为术后较术前减小。这与本研究的结果一致。此外, 不同研究间房角变化幅度存在差异, 可能与样本筛选标准、随访时间及测量条件不同有关。既往研究普

表8 术前参数对术后各方位房角参数影响的多元线性回归分析结果

方位	房角参数	自变量	$\beta$	$t$	$P$
颞侧	AOD750	ACD	0.303	2.933	0.004
		IT750	-0.323	-3.267	0.002
		I-Area	0.211	2.088	0.040
颞侧	TIA750	ACD	0.266	2.582	0.012
		IT750	-0.238	-2.269	0.026
		PD	-0.229	-2.160	0.034
颞侧	TISA750	ACD	0.362	3.656	<0.01
		IT750	-0.318	-3.364	0.001
		I-Area	0.222	2.304	0.024
鼻侧	AOD750	ACD	0.430	4.264	<0.01
		PD	-0.215	-2.131	0.036
鼻侧	TIA750	ACD	0.458	4.527	<0.01
鼻侧	TISA750	ACD	0.513	5.251	<0.01
下方	AOD750	ACD	0.452	4.728	<0.01
		IT750	-0.279	-2.921	0.005
下方	TIA750	ACD	0.367	3.606	0.001
		IT750	-0.259	-2.538	0.013
下方	TISA750	ACD	0.487	5.178	<0.01
		IT750	-0.260	-2.763	0.007
上方	AOD750	ACD	0.339	3.166	0.002
上方	TIA750	ACD	0.311	2.868	0.005
上方	TISA750	ACD	0.346	3.234	0.002

遍发现术后房角变化与拱高显著相关,且拱高较大时,房角狭窄的程度更明显,部分研究甚至指出,较高的拱高可能导致房角闭锁风险增加<sup>[17]</sup>。然而,本研究发现术前解剖因素与术后房角变化的相关性更为稳定,而拱高虽与部分房角参数存在相关性,但在回归分析中未显示有差异。这一差异可能与不同研究中拱高的分布、样本特征、以及控制条件等因素有关。

在回归模型中,ACD均与术后各方位房角参数呈正向影响( $P<0.05$ ),与既往研究结果一致<sup>[14,18-19]</sup>。从生物力学角度看,ACD决定了眼前段的可用空间容积。前房较浅的患眼在ICL V4c植入后,晶状体襻与自身晶状体共同作用,可能使虹膜根部向前移位,导致周边虹膜更贴近小梁网,从而加重房角变窄<sup>[20]</sup>。Liu等<sup>[19]</sup>亦报道ACD<2.8 mm的患者术后发生房角狭窄的风险更高。而深前房眼因空间更充裕,术后房角相对更易保持开放。

本研究还观察到虹膜形态在房角变化中具有重要作用。回归分析显示,IT750是术后颞侧及下方房角变化的影响因素,提示周边虹膜厚度与上述方位房角的结构改变有关。该结果与闭角型青光眼相关研究一致:Atalay等<sup>[21]</sup>和Wang等<sup>[22]</sup>均指出虹膜厚度是影响房角开放程度的重要因素。不同方位房角对虹膜形态的敏感性可能与解剖分布有关。既往研究表明,垂直方向房角通常较水平方向更窄<sup>[23-25]</sup>,且虹膜在垂直方向相对较厚<sup>[26]</sup>。在ICL植入后,重力作用可能进一步放大周边虹膜对下方房角的影响,从而解释本研究中IT750与下方房角相关性更为显著的现象。

与IT750不同,I-Area在本研究与术后颞侧房角呈正相关。既往研究指出,虹膜前表面的隐窝和孔洞结构允

许房水在虹膜内外快速流动<sup>[27]</sup>。如果将虹膜比作一个“海绵”,较大的I-Area可能在一定程度上缓冲ICL植入后虹膜-晶状体复合体对小梁网的局部挤压,从而对房角开放产生一定的保护效应。该推测仍需进一步研究加以验证。

此外,PD与术后颞侧TIA750和鼻侧AOD750呈显著负相关。既往研究认为,瞳孔扩大时虹膜周边向前拱起的幅度更大<sup>[28]</sup>,在浅前房眼和ICL植入后尤其明显。提示术前瞳孔较大的患者,术后在暗环境或散瞳状态下可能更容易出现功能性缩窄,临床随访中应予以关注。

本研究观察到术后拱高随时间的推移逐渐降低,该趋势与既往研究结果一致<sup>[29]</sup>。Kapoor等<sup>[30]</sup>报道术后早期拱高下降较为明显,而中长期随访中变化趋于稳定。术后1 mo的复查至关重要,也是评估手术效果、拱高安全性和长期预测性的一个黄金时间点<sup>[9,31-32]</sup>。本研究中术后1 mo的拱高范围仍处于安全区间(0.15-0.79 mm)<sup>[33]</sup>,但需长期随访以评估其对晶状体代谢及房角结构的影响。

在多元回归分析中,植入ICL尺寸及术后拱高未表现为房角变化的主要影响因素,提示其对房角的作用可能主要通过拱高这一中介变量间接实现,并受ACD等更强解剖因素主导。值得注意的是,即使在拱高处于安全范围内,仍有部分患者术后出现显著房角变窄<sup>[34]</sup>。Tang等<sup>[17]</sup>指出当拱高超过0.695 mm时需警惕房角关闭风险。进一步强调术后房角监测的重要性。

研究随访期内除2例早期一过性高眼压外,余所有患者术后眼压均在正常范围内,尽管术后房角参数显著减小,但是在短期内无法建立房角变窄与病理性眼压升高的直接统计关联。说明了在严格的术前筛选(如前房深度

≥2.8 mm)和标准的尺寸选择流程下,ICL手术在预防术后急性眼压事件方面是有效的。

与既往研究相比,本研究在系统分析四个方位房角参数变化的基础上,结合AOD750、TIA750及TISA750多指标进行综合评估,并通过多元回归模型分析术前眼前段解剖因素对术后房角变化的相关性。相较于仅描述术后房角变窄现象的研究,本研究更强调对影响因素的定量分解与贡献分析,从而更为清晰地揭示了术前结构特征与术后房角变化之间的关系。从临床角度看,术后房角改变与术前解剖结构密切相关,为术前眼前段结构评估提供了进一步的参考。未来可基于ACD、IT750和PD构建术后房角变窄风险预测模型,以实现更加个体化的术前评估与术后随访管理。

本研究存在一定局限性:(1)研究为单中心回顾性研究,样本量相对有限,可能影响统计效应;(2)随访时间较短,并不足以评估房角变化对眼压及青光眼相关结局的长期影响;(3)未对不同ICL型号和拱高水平进行分层分析;未来仍需开展多中心、大样本、长期随访的前瞻性研究,以进一步验证本研究结论。

综上所述,本研究识别的关键术前眼前段解剖参数,包括ACD、IT750及PD,有助于术前识别房角显著变窄的潜在高风险个体,并为术后风险分层与管理提供临床参考。从而为其制定更加个体化的长期随访方案(如定期房角评估),以期更好地监测和管理远期潜在风险。

**利益冲突声明:**本文不存在利益冲突。

**作者贡献声明:**武燕苹论文选题,患者随访,初稿撰写及统计学分析;郑锦豪数据处理及统计分析;付宇姗数据分析及患者随访;姚东奇数据测量和统计分析;李颖实施手术,数据管理;宋武莲选题指导,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] Kamiya K, Shimizu K, Takahashi M, et al. Eight-year outcomes of implantation of posterior chamber phakic intraocular lens with a central port for moderate to high ametropia. *Front Med*, 2021,8:799078.
- [2] Nakamura T, Isogai N, Kojima T, et al. Long-term *in vivo* stability of posterior chamber phakic intraocular lens: properties and light transmission characteristics of explants. *Am J Ophthalmol*, 2020,219:295-302.
- [3] Gonzalez-Lopez F, Bilbao-Calabuig R, Alen R, et al. Pupillary block glaucoma secondary to central port occlusion following insertion of a phakic implantable copolymer lens. *J Cataract Refract Surg*, 2017,43(11):1468-1470.
- [4] Kocová H, Vlková E, Michalčová L, et al. Incidence of cataract following implantation of a posterior - chamber phakic lens ICL (Implantable Collamer Lens) - long-term results. *Cesk Slov Oftalmol*, 2017,73(3):87-93.
- [5] Kohnen T, Maxwell WA, Holland S. Correction of moderate to high myopia with a foldable, angle - supported phakic intraocular lens. *Ophthalmology*, 2016,123(5):1027-1035.
- [6] Almasri KG, Pichi F. Uveitis - glaucoma - hyphema syndrome secondary to implantable collamer lens. *Ocul Immunol Inflamm*, 2025,33(1):176-179.
- [7] Choi H, Kim T, Kim SJ, et al. Predicting postoperative anterior chamber angle for phakic intraocular lens implantation using preoperative

anterior segment metrics. *Transl Vis Sci Technol*, 2023,12(1):10.

- [8] Nakamura T, Isogai N, Kojima T, et al. Optimization of implantable collamer lens sizing based on swept - source anterior segment optical coherence tomography. *J Cataract Refract Surg*, 2020,46(5):742-748.
- [9] Wu H, Zhong DJ, Luo DQ, et al. Improvement in the ideal range of vault after implantable collamer lens implantation: a new vault prediction formula. *Front Med*, 2023,10:1132102.
- [10] Igarashi A, Shimizu K, Kato S, et al. Predictability of the vault after posterior chamber phakic intraocular lens implantation using anterior segment optical coherence tomography. *J Cataract Refract Surg*, 2019,45(8):1099-1104.
- [11] Sánchez-Trancón A, Manito SC, Sierra OT, et al. Prediction model of the horizontal trabecular iris angle after phakic posterior chamber implantable intraocular lens surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2023,49(7):732-739.
- [12] 潘冰心, 吴杰, 蒋鹏飞, 等. 高度近视患者植入 ICL V4c 后眼前节参数的早期结果. *国际眼科杂志*, 2024,24(3):491-494.
- [13] Eissa SA, Sadek SH, El-Deeb MW. Anterior chamber angle evaluation following phakic posterior chamber collamer lens with CentraFLOW and its correlation with ICL vault and intraocular pressure. *J Ophthalmol*, 2016,2016:1383289.
- [14] Huang T, Zhang HY, Li K. Assessment of clinical efficacy and safety of ICL implantation in patients with relatively shallow anterior chamber depth in early and midterm postoperative time. *Heliyon*, 2024,10(22):e39791.
- [15] 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.
- [16] Zhang GM, Zhao LJ, Xie HT, et al. Anterior segment biometry during accommodation after posterior chamber phakic implantable collamer lens implantation. *J Refract Surg*, 2024,40(3):e164-e172.
- [17] Tang CH, Sun T, Sun ZZ, et al. Evaluation of biometric indicators of anterior segment parameters after ICL implantation by swept - source optical coherence tomography. *BMC Ophthalmol*, 2023,23(1):193.
- [18] Sánchez-Trancón A, Manito SC, Sierra OT, et al. Influence of anterior chamber depth and vault on anterior chamber angle morphology after phakic posterior chamber intraocular lens implantation. *Int Ophthalmol*, 2024,44(1):15.
- [19] Liu ST, Liu F, Cheng MR, et al. Anterior chamber angle changes and its associated factor after posterior chamber phakic intraocular lens implantation in eyes with shallow anterior chambers. *Transl Vis Sci Technol*, 2025,14(8):41.
- [20] Fernández-Vigo JI, Macarro-Merino A, Fernández-Vigo C, et al. Effects of implantable collamer lens V4c placement on iridocorneal angle measurements by Fourier - domain optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol*, 2016,162:43-52.e1.
- [21] Atalay E, Nongpiur ME, Baskaran M, et al. Biometric factors associated with acute primary angle closure: comparison of the affected and fellow eye. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016,57(13):5320-5325.
- [22] Wang BS, Narayanaswamy A, Amerasinghe N, et al. Increased iris thickness and association with primary angle closure glaucoma. *Br J Ophthalmol*, 2011,95(1):46-50.
- [23] Koç M, Öztülken K, Ayar O, et al. Measurement of the anterior chamber angle according to quadrants and age groups using Pentacam Scheimpflug camera. *J Glaucoma*, 2013,22(3):226-229.
- [24] Dorairaj SK, Tello C, Liebmann JM, et al. Narrow angles and angle closure: anatomic reasons for earlier closure of the superior portion of the iridocorneal angle. *Arch Ophthalmol*, 2007,125(6):734-739.
- [25] Kim DY, Sung KR, Kang SY, et al. Characteristics and

reproducibility of anterior chamber angle assessment by anterior-segment optical coherence tomography. *Acta Ophthalmol*, 2011,89(5):435-441.

[26] Invernizzi A, Cigada M, Savoldi L, et al. In vivo analysis of the iris thickness by spectral domain optical coherence tomography. *Br J Ophthalmol*, 2014,98(9):1245-1249.

[27] Quigley HA, Silver DM, Friedman DS, et al. Iris cross-sectional area decreases with pupil dilation and its dynamic behavior is a risk factor in angle closure. *J Glaucoma*, 2009,18(3):173-179.

[28] 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.

[29] 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.

[30] Kapoor G, Sharma VK, Singh P, et al. Objective and subjective

outcomes following implantable collamer lens (ICL) implantation for the correction of myopia. *Oman J Ophthalmol*, 2025,18(2):187-192.

[31] Zhao J, Zhao J, Yang W, et al. Peripheral anterior chamber depth and angle measurements using pentacam after implantation of toric and non-toric implantable collamer lenses. *Front Med*, 2021,8:610590.

[32] Cui W, Wu XM, Ren Q, et al. A new formula based on new parameters for predicting postoperative vault after posterior chamber intraocular lens implantation: a retrospective study. *Quant Imaging Med Surg*, 2023,13(9):5502-5510.

[33] Kojima T, Yokoyama S, Ito M, et al. Optimization of an implantable collamer lens sizing method using high-frequency ultrasound biomicroscopy. *Am J Ophthalmol*, 2012,153(4):632-637,637.e1.

[34] Nishida T, Kojima T, Kataoka T, et al. Prediction of the trabecular iris angle after posterior chamber phakic intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*, 2022,48(5):604-610.

## 国际眼科杂志中文版 (IES) 近 5 年核心影响因子趋势图

