

# ICL 植入术后并发性白内障的研究进展

程欣儿, 徐国旭

引用:程欣儿, 徐国旭. ICL 植入术后并发性白内障的研究进展. 国际眼科杂志, 2025, 25(1):50-54.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No.U2267220)

作者单位:(215005)中国江苏省苏州市,苏州大学附属第二医院眼科中心

作者简介:程欣儿,在读硕士研究生,研究方向:白内障及眼底病.

通讯作者:徐国旭,博士,主任医师,博士研究生导师,研究方向:白内障及眼底病. [xuguoxu2199@163.com](mailto:xuguoxu2199@163.com)

收稿日期:2024-03-19 修回日期:2024-11-19

## 摘要

高度近视矫治一直是眼科临床的挑战。有晶状体眼后房型人工晶状体(ICL)植入术已成为高度近视患者的主要治疗选择。近年来的研究表明,ICL植入术不仅有效矫正中高度近视,也逐渐应用于中低度近视。此外,ICL植入术还可解决一些困难的屈光问题,并可与角膜屈光手术结合,扩大矫正范围。ICL植入术具有矫正度数范围广、术后视觉质量好、可预测性强、可逆性及保留患者自身晶状体调节能力等优点,在临床上逐步显现出独特的优越性。术后并发性白内障是常见的影响视力因素,严重者需要进行二次手术。ICL植入术后并发性白内障的发生机制与ICL的设计、材质、拱高及患者自身因素等有关。文章旨在综述ICL设计的更新迭代、术后并发性白内障的机制及其防治。

**关键词:**有晶状体眼后房型人工晶状体(ICL)植入术;并发性白内障;高度近视

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2025.1.09

## Research progress on postoperative complicated cataracts after implantable collamer lens implantation

Cheng Xiner, Xu Guoxu

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (No.U2267220)

Eye Center, the Second Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou 215005, Jiangsu Province, China

**Correspondence to:** Xu Guoxu. Eye Center, the Second Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou 215005, Jiangsu Province, China. [xuguoxu2199@163.com](mailto:xuguoxu2199@163.com)

Received:2024-03-19 Accepted:2024-11-19

## Abstract

• Correcting high myopia has always been challenging in clinical practice. For patients with high myopia, the implantation of an implantable collamer lens (ICL) has become the main treatment option. Recent studies have shown that ICL implantation is effective not only for correcting moderate - to - high myopia but is also increasingly used for mild - to - moderate myopia. Furthermore, ICL implantation can address difficult refractive problems and can be combined with corneal refractive surgery to extend the range of correction. ICL implantation offers a wide range of corrections, good postoperative visual quality, high predictability, reversibility, and preservation of the natural accommodative capacity. It is gradually demonstrating its unique advantages in clinical practice. Postoperative complicated cataract is a common cause of visual impairment, and severe cases may require secondary surgery. The design, material, and vault of the ICL, along with patient - specific factors, are related to the mechanism of postoperative complicated cataracts after ICL implantation. The purpose of this article is to review the updates and iterations in ICL design, the mechanism of postoperative complicated cataracts, and their prevention.

• **KEYWORDS:** implantable collamer lens (ICL) implantation; complicated cataract; high myopia

**Citation:** Cheng XE, Xu GX. Research progress on postoperative complicated cataracts after implantable collamer lens implantation. *Guoji Yanke Zazhi(Int Eye Sci)*, 2025, 25(1):50-54.

## 0 引言

20世纪50年代,欧洲率先开展了有晶状体眼人工晶状体植入术(phakic intraocular lens, PIOL)以矫正屈光不正。与角膜屈光手术相比,PIOL具有手术时间短、术后恢复快、摆脱了角膜厚度限制等优点。它能够矫正近视及散光的范围比角膜屈光手术更广,并保留了角膜的正常生理结构,因此避免了术后干眼的问题。更重要的是,PIOL具有可逆性。发展至今,出现了三类PIOL:前房角支撑型PIOL、虹膜固定型PIOL、后房型PIOL。前房角支撑型PIOL发生角膜内皮失代偿几率较高,虹膜固定型PIOL远期可能会出现虹膜损伤,后房型PIOL在多次改良设计后脱颖而出,目前常用的后房型PIOL为有晶状体眼后房型人工晶状体(implantable collamer lens, ICL),已有多项研

究证明了 ICL 植入术的安全性和有效性<sup>[1-2]</sup>,对于高度近视患者,ICL 植入术与飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术 (small incision lenticule extraction, SMILE) 及准分子激光原位角膜磨镶术 (laser-assisted *in situ* keratomileusis, LASIK) 同样安全,且术后早期视觉质量更好<sup>[3-4]</sup>,然而并发性白内障是术后最常见的并发症<sup>[5-6]</sup>。随着 ICL 技术的不断升级,其术后并发性白内障的发生率显著下降。本文着重对于 ICL 设计的发展历程,并发性白内障的微观机制进行总结,整合不同领域的见解,有助于研究者们不断升级改良 ICL 设计,为患者提供更好的术后视觉效果。

## 1 ICL 发展历程

ICL 最早的雏形是 1986 年由一位俄国医生发明的领扣型人工晶状体。1993 年开始,欧洲和南美洲开展了第一代 ICL 原型 (IC2020) 的植入手术。然而,由于其光学区直径仅有 3.5-4.5 mm,外形较为平坦,术后易出现白内障、夜间视觉症状及闭角型青光眼,因此,术前 YAG 激光周边虹膜切开或术中周边虹膜切开术成为其必备条件。1994 年推出的 IC2020-M,其光学直径为 4.5 mm,缺点是容易发生位置偏心。第二代后房型 PIOL (V2) 增加了拱高,并在脚襻添加了两个辨认方向的标记,更易于辨认其前后面,也因此缩小了手术切口。第三代后房型 PIOL (V3) 增大了光学区和拱高,但白内障的高发病率限制了以上几种 ICL 的应用。为了尽量降低前囊下混浊的风险,1996 年推出的第四代后房型 PIOL (V4) 在拱高方面进一步做出了调整。其拱高比 V3 增加了 0.13-0.21 mm。V4 投入使用后,术后白内障的发病率有所下降。2011 年,带有中心孔的 V4c ICL 获得了欧洲合格认证。与以前的 ICL 相比,V4c 型 ICL 最主要的改变是使用了 CentraFLOW 技术,保证了房水的正常流通。这一改进使得患者对于低拱高的耐受性更高<sup>[7]</sup>,避免了术前或术中虹膜切开。中心孔型 ICL 问世以来,多名研究者发现 ICL 术后并发性白内障的发生率显著下降<sup>[8]</sup>。起初,人们对带有中央孔的新型 ICL 的光学性能表示担忧,因为中央孔的存在可能会降低 ICL 的光学质量,例如,产生眩光或光晕。因此,V5 型 ICL 在 V4c 型 ICL 的基础上将光学区增大至 6.25 mm,以减少夜间视觉症状。2020 年,ICL V6 在欧洲地区获批进入市场。该产品采用了景深延长技术 (extend depth of field, EDOF),是一款主要针对老视患者的晶状体。ICL 最初的材质为水凝胶,虽能有效矫正近视,但术后白内障、迟发性葡萄膜炎等并发症发病率较高,其中前囊下混浊的发生率可达 42.96%。目前常使用 Collamer 作为晶状体材料。Collamer 是一种以亲水性羟甲基丙烯酸 (hydroxyethyl methacrylate, HEMA) 为基础的共聚物,并在其中加入了胶原蛋白和可吸收紫外线的生色团制作而成,具有独特的优势。该材料生物相容性高,ICL 植入后,纤维连接蛋白会包裹在其表面,机体会将 ICL 视为自身组织,从而免受免疫系统的攻击,因此 ICL 可以长期放置在眼内,与天然晶状体共存。另外,其中的胶原可以产生微负离子电荷,防止蛋白质和白细胞在 ICL 表面的沉积和黏附。Collamer

晶状体从表面到内部的含水量从 100% 逐渐降低至 40%,形成独特的折射梯度,降低了晶状体表面的反射率和高阶像差,能够提供接近人眼天然晶状体的优越视觉效果。近年来对人工晶状体的荟萃分析显示,Collamer 材质 ICL 术后前囊下白内障 (anterior subcapsular cataract, ASC) 的发生率降至 1.1%-5.9%,需要二次手术的 ASC 发生率为 0-1.8%<sup>[9]</sup>。ICL 晶状体还具有紫外线防护功能,可在矫正视力的同时保护患者的眼健康。

## 2 ICL 植入术后并发性白内障的相关机制

### 2.1 晶状体损伤

术后早期并发性白内障的形成与术中晶状体损伤有关。ICL 植入术可能导致结膜或眼内出血、角膜上皮缺损、角膜水肿、前房角损伤、外伤性白内障等损伤。外伤性白内障是手术损伤造成的严重后果之一。手术过程中触碰眼内天然晶状体及反复操作对晶状体前囊造成的损伤可能会使囊下晶状体上皮细胞增生,导致术后早期前囊下混浊的形成,说明术者的熟练程度是术后并发性白内障的重要影响因素,术中应注意尽量减少眼内操作,避免触碰晶状体并保持前囊完整性。对于不带有中心孔的 ICL,为了保证房水的正常流通,减少瞳孔阻滞、青光眼等并发症的发生率,术前 YAG 激光周边虹膜切开术或术中外周虹膜切除术是其必备的辅助条件。有病例报道,在进行术中外周虹膜切除术时,虹膜和晶状体前囊被前房玻璃体切割器吸引,导致晶状体前囊损伤所致的晶状体混浊<sup>[10]</sup>。术后随访 2 a 期间,晶状体状态稳定,但仍需观察在长期随访过程中晶状体的混浊是否会加重从而导致白内障的形成。Steinwender 等<sup>[11]</sup>回顾了 V4c 型 ICL 植入术后因前囊下混浊致视力下降的病例,分析发现这种混浊是由于术中套管冲洗去除黏弹剂 (ophthalmic viscosurgical device, OVD) 的位置靠近中心孔所致。将 OVD 去除方式进行改良,套管放置在隧道切口内,避免在 PIOL 中心孔上方抽吸后没有再观察到人工晶状体植入术后早期发生前囊下混浊的病例。研究者推测,根据伯努利原理,强制抽吸可能会导致平衡盐溶液快速流过中心孔,从而在 ICL 后表面和晶状体前囊之间产生湍流,天然晶状体会阻碍平衡盐溶液的湍流流动,所产生的摩擦阻力可能导致外伤性白内障形成。另外,低拱高所导致的 ICL 与晶状体的物理接触,同样会导致晶状体出现损伤,促进并发性白内障的形成。

### 2.2 拱高

拱高是指术后 ICL 后表面与晶状体前表面之间的垂直距离,是评价 ICL 植入术后安全性的重要指标。对于拱高的范围尚无明确定论,但大多数研究认为合适的拱高一般为 250-750  $\mu\text{m}$ <sup>[7]</sup>。ICL 尺寸过大会导致高拱高、浅前房以及虹膜后侧与 ICL 接触,尺寸过小可导致拱高不足及 ICL 旋转或倾斜。起初学者认为,低拱高 (<250  $\mu\text{m}$ ) 会导致 ICL 与晶状体持续或间断性的物理接触,所造成的晶状体损伤常导致术后晚期并发性白内障形成。Fernandes 等<sup>[5]</sup>回顾了传统 ICL 模型的潜在并发症,发现 33.8% 的并发性白内障患者拱高小于 200  $\mu\text{m}$ 。Alfonso 等<sup>[12]</sup>对 1 898 例患者 3 420 眼进行 6 a 随访,共有 15 例患

者21眼(0.61%)因出现并发性白内障而进行了二次手术,其平均拱高为 $103 \pm 69 \mu\text{m}$ ,15眼(70%)拱高低于 $100 \mu\text{m}$ ,6眼(30%)拱高分布于 $100\text{--}270 \mu\text{m}$ 。因此,准确预测拱高,选择合适尺寸的ICL是获得术后良好视觉效果,降低并发症发生率的关键。研究者们早已发现,拱高会随着时间推移而逐渐降低。Guber等<sup>[13]</sup>对78例133眼患者进行10 a随访,术后即刻测量的平均拱高为 $426 \mu\text{m}$ ,10 a后降至 $213 \mu\text{m}$ 。有研究者针对传统ICL植入术后随访73 mo,结果显示术后前6 mo,平均中央拱高由 $510 \pm 238 (100\text{--}940) \mu\text{m}$ 降至 $439 \pm 231 (90\text{--}910) \mu\text{m}$ ,植入36 mo后,降低趋势下降,大多数眼每月平均降低约 $2 \mu\text{m}$ 。研究者指出,初始拱高是影响拱高下降的重要因素,初始拱高越大,术后下降越明显。拱高在术后前6 mo降幅最大,随着时间推移,降幅逐渐减缓<sup>[14]</sup>。因此,术前选择ICL尺寸时应该充分考虑到术后拱高的不断下降。多项研究指出,中心孔型ICL对低拱高的耐受性更好,并发性白内障的发生率更低<sup>[1,15-16]</sup>。关于其机制,Eissa等<sup>[17]</sup>对27例患者54只中心孔型ICL眼于术后1、6、18 mo时进行随访,发现术后18 mo时,拱高存在轻微增高,猜想其原因是中心孔型ICL存在增加拱高的“喷泉效应”,但Cao等<sup>[18]</sup>及Kamiya等<sup>[19]</sup>分别对比了术后6 mo,1 a传统ICL与中心孔型ICL的拱高变化,发现中心孔的存在对拱高没有显著影响。因此,中心孔型ICL对拱高的高耐受性,可能是由于中心孔改善了眼内的房水循环。以上对于拱高的研究,均是在特定光线环境下,对于静态拱高值进行测量,Gonzalez-Lopez等<sup>[20]</sup>发现,在环境光线变化诱导的瞳孔运动过程中,拱高也在动态变化。光线较强时,收缩的瞳孔会使ICL位置下移而降低拱高,因此,ICL的动态变化时出现的低拱高情况可能会对并发性白内障的形成产生潜在的影响。除上述观点外,另有部分学者推测,术后前囊下混浊的形成是因为ICL与晶状体之间的间隙不足,而非直接接触。有研究发现,术后6 mo出现的前囊下混浊主要出现在晶状体与ICL未接触的部位<sup>[21]</sup>。然而,低拱高仅仅是导致并发性白内障形成的众多因素之一。有研究报道了拱高超出正常范围时出现的并发性白内障<sup>[22]</sup>。同样,一些研究发现在拱高为零的情况下,并未出现任何前囊下混浊。

**2.3 房水循环障碍** 晶状体的前部与房水密切接触,房水循环为晶状体提供营养,带走代谢产物。因此,晶状体前表面房水循环的改变所导致的晶状体营养不良可能是导致并发性白内障的另一个原因。多项研究发现,中心孔型ICL能明显降低并发性白内障的发生率,这可能是因为中心孔的存在改善了眼内房水循环<sup>[23]</sup>。Hayakawa等<sup>[24]</sup>回顾性分析了403例患者770只植入了V4c ICL的眼睛,发现770眼中仅有8眼(1.0%)需行ICL摘除术,其中最常见的病因是5眼原有白内障的加重,其次是3眼的术后残余屈光不正。一些研究比较了植入传统ICL与中心孔型ICL后眼内房水动力学,发现中央孔型ICL后表面与晶状体前表面之间的房水流量大于传统ICL的情况<sup>[25]</sup>,这一结果进一步证明了房水循环与并发性白内障的相关性。

但目前尚不清楚日常眼球扫视运动是否会影响房水流动及其营养分布。作者认为,可以通过建立新的模型模拟评估眼球运动时房水流动的变化,以确定这种变化是否会加速并发性白内障的形成。Hwang等<sup>[26]</sup>报道了1例中心孔型ICL植入术后白内障1 mo内迅速发展至过熟期,该眼出现了ICL偏位和低拱高,研究者们认为,虽然ICL并未与晶状体直接接触,但拱高过低阻止了房水的充分循环,使晶状体代谢紊乱。Kawamorita等<sup>[25]</sup>研究显示,中心孔型ICL在晶状体中心前 $0.25 \text{ mm}$ 处的流速为 $1.52 \times 10^{-1} \text{ mm/s}$ ,而传统ICL为 $1.21 \times 10^{-5} \text{ mm/s}$ 。研究者猜想,虽然中心孔型ICL改善了房水循环,但在低拱高的情况下,快速流动的房水可能会加速白内障的发展。

**2.4 炎症反应** ICL植入术后眼内可能出现不同程度的炎症反应,短期炎症反应不会影响晶状体透明度。然而,当ICL与正常眼内结构持续或间断地产生物理接触和摩擦时,会导致眼内长期存在慢性炎症。免疫细胞被激活并释放炎症介质,如细胞因子和化学介质。这些介质渗入晶状体并影响其上皮细胞的功能和结构,可能导致晶状体异常增殖或纤维化,进而使晶状体组织出现混乱和混浊。因此,炎症反应可能加速并发性白内障的发展。炎症还会使血-房水屏障功能受损,导致晶状体代谢障碍。慢性炎症还可能长期刺激晶状体蛋白使其发生变性,从而导致晶状体透明度下降。Hwang等<sup>[26]</sup>对于术后1 mo内迅速发展至过熟期的患者进行术后检测,发现促炎症因子IL-6水平增高,提示炎症反应可能会加速并发性白内障进展。

**2.5 患者相关因素** 研究者发现,与患者自身条件相关的因素与术后白内障形成同样紧密相关。有研究者比较了不同年龄、不同屈光度患者术后并发性白内障的发生率,发现年龄超过40岁或屈光度大于 $-12 \text{ D}$ 的患者更容易出现前囊下混浊<sup>[12]</sup>。Gimbel等<sup>[27]</sup>对1 653只ICL眼进行回顾性观察研究,计算了因ASC而行二次手术的发生率,并分析了患者年龄、屈光度和前房深度( anterior chamber depth,ACD),发现共有46眼接受了二次手术,其平均年龄为54岁,未发生ASC的1 607眼平均年龄为40岁。这46眼也有较大的屈光度,平均为 $-12 \pm 3.91 \text{ D}$ ,未发生ASC的患者的平均屈光度为 $-8.58 \pm 3.84 \text{ D}$ 。此外,46眼的平均ACD为 $2.98 \text{ mm}$ ,而1 607例未出现ACS患者的平均ACD为 $3.18 \text{ mm}$ 。提示ASC的发生率与年龄、屈光度呈正相关,与ACD呈负相关。随着近视程度增高,晶状体的厚度会增加,且天然晶状体在自然老化过程中也会逐渐增厚。同时,高度近视患者需要使用边缘较厚的ICL,以上因素均会导致晶状体的前部更靠近ICL的后部,从而缩小了拱高。因此评估高度近视患者周边部拱高具有十分重要的意义。有研究发现,中心孔型ICL植入后,平均晶状体密度会增加,这可能与患者的年龄及屈光度有关<sup>[28-29]</sup>,虽然尚未发展成白内障,但需要进一步证实ICL植入是否会加速患者原有白内障的进展。目前,患者的晶状体矢高( crystalline lens rise,CLR)也被认为是影响术后并发性白内障形成的关键因素<sup>[30]</sup>。CLR指的是晶状体前极和两侧

房角隐窝相连的水平线之间的垂直距离。研究者发现 CLR 与术后拱高呈负相关,这与 Trancón 等<sup>[31]</sup>的观点一致。此外,性别可能也是并发性白内障形成的影响因素之一,女性患者发病率高于男性,但目前相关研究较少,仍需要进一步证实。作者认为,随着进一步研究,或许可以生成一个基于个人身体特征的 ASC 风险因素计算器。

### 3 ICL 植入术后并发性白内障的防治

为降低并发性白内障的发生率,可选择中心孔型 ICL,并使用准确的方法选择 ICL 尺寸和预测拱高。目前,选择合适尺寸的 ICL 常使用 STAAR 公司推荐的传统角膜水平直径(white-to-white,WTW)和 ACD 参考表,另有研究认为,WTW 与 ICL 所放置的睫状沟相关性较差,可高频超声生物显微镜(ultrasound biomicroscopy,UBM)测量睫状沟直径(sulcus to sulcus,STS)。Zhang 等<sup>[32]</sup>研究发现,相比传统的 WTW 预测,UBM 测量 STS 能预测更理想的 ICL 拱高,但 Packer<sup>[9]</sup>对基于 WTW 和 STS 所预测的拱高进行了 Meta 分析,发现两者并无明显差异。并且,因 UBM 具有侵入性,费时且十分依赖操作者的经验,限制了 UBM 的临床应用。Chen 等<sup>[33]</sup>基于人工智能和大数据对 WTW、水平 STS 和垂直 STS 预测拱高和 ICL 尺寸的准确性进行评估,发现与传统的 WTW 和 ACD 预测相比,基于 WTW、水平 STS 和垂直 STS 的预测更为准确。此外,有研究者提出眼前节的 OCT 也可用于开发 ICL 尺寸公式<sup>[34]</sup>。CLR 也是影响术后拱高的重要因素。当 CLR 为 $-150-300\ \mu\text{m}$ 时,对术后拱高的影响不大;当 CLR $>300\ \mu\text{m}$ 时,术后拱顶相对较低;当 CLR $<-150\ \mu\text{m}$ 时,术后拱高相对较高。因此,在计算 ICL 尺寸时,应考虑 CLR 的极值。如果 CLR $>300\ \mu\text{m}$ ,则 ICL 直径可以考虑稍大于制造商推荐的直径;如 CLR $<-150\ \mu\text{m}$ ,则选择较小直径的 ICL<sup>[30]</sup>。术中 OCT 可以帮助术者在手术过程中测量拱高<sup>[35-36]</sup>,以便及时调整。目前,ICL 术后并发性白内障的主要治疗方式为 ICL 取出联合超声乳化白内障吸除术及人工晶状体植入术。飞秒激光也可应用于辅助术中前囊膜切开及劈核过程中<sup>[22]</sup>。然而,飞秒激光应用于 ICL 植入眼的白内障手术时存在一些挑战,因为 ICL 存在折射现象,Nath 等<sup>[37]</sup>报道了 1 例手术过程中激光错误聚焦至 ICL 前表面的病例,提示在激光对焦时必须非常小心。

### 4 总结

综上所述,ICL 植入术在临床应用过程中显示出了独特的优越性,但其术后并发症,尤其是并发性白内障常常成为医生及患者选择该术式的顾虑。研究者们在 ICL 发展的历程中对其多种并发症的机制进行了深入研究,推动了 ICL 的不断更新,为患者提供了更好的视觉质量,显著降低了术后并发性白内障的发生率,使 ICL 植入术逐渐受到更多医生和患者的青睐。为了满足人们对于更高视觉质量的需求,ICL 的设计仍在不断改进中,最新的 ICL 型号 V6 已经问世。未来,随着 ICL 的持续改进和手术技术的不断成熟,ICL 植入术将覆盖更多患者,为其带来更加优质的视觉效果,迎来更广阔的发展前景。

**利益冲突声明:**本文不存在利益冲突。

**作者贡献声明:**徐国旭论文选题与修改;程欣儿协助选题、撰写和修改。所有作者阅读并同意最终的文本。

### 参考文献

- [1] Montés - Micó R, Ruiz - Mesa R, Rodríguez - Prats JL, et al. Posterior - chamber phakic implantable collamer lenses with a central port: a review. *Acta Ophthalmol*, 2021,99(3):e288-e301.
- [2] Wannapanich T, Kasetsuwan N, Reinprayoon U. Intraocular implantable collamer lens with a central hole implantation: safety, efficacy, and patient outcomes. *Clin Ophthalmol*, 2023,17:969-980.
- [3] Chen D, Zhao XY, Chou YY, et al. Comparison of visual outcomes and optical quality of femtosecond laser - assisted SMILE and visian implantable collamer lens (ICL V4c) implantation for moderate to high myopia: a meta-analysis. *J Refract Surg*, 2022,38(6):332-338.
- [4] Goes S, Delbeke H. Posterior chamber toric implantable collamer lenses vs LASIK for myopia and astigmatism: systematic review. *J Cataract Refract Surg*, 2022,48(10):1204-1210.
- [5] Fernandes P, González - Méjome JM, Madrid - Costa D, et al. Implantable collamer posterior chamber intraocular lenses: a review of potential complications. *J Refract Surg*, 2011,27(10):765-776.
- [6] Kocová H, Vlková E, Michalcová L, et al. Implantation of posterior chamber phakic intraocular lens for myopia and hyperopia - long-term clinical outcomes. *J Fr Ophtalmol*, 2017,40(3):215-223.
- [7] Kato S, Shimizu K, Igarashi A. Assessment of low-vault cases with an implantable collamer lens. *PLoS One*, 2020,15(11):e0241814.
- [8] 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.
- [9] Packer M. Meta-analysis and review: effectiveness, safety, and central port design of the intraocular collamer lens. *Clin Ophthalmol*, 2016,10:1059-1077.
- [10] Alshabeeb RS, Alharbi SS. Vitrector induced lens injury during peripheral iridectomy in implantable collamer lens surgery. *Saudi J Ophthalmol*, 2019,33(4):389-391.
- [11] 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 Cataract Refract Surg*, 2017,43(7):969-974.
- [12] Alfonso JF, Lisa C, Fernández - Vega L, et al. Prevalence of cataract after collagen copolymer phakic intraocular lens implantation for myopia, hyperopia, and astigmatism. *J Cataract Refract Surg*, 2015,41(4):800-805.
- [13] Guber I, Mouvet V, Bergin C, et al. Clinical outcomes and cataract formation rates in eyes 10 years after posterior phakic lens implantation for myopia. *JAMA Ophthalmol*, 2016,134(5):487-494.
- [14] Alfonso JF, Fernández - Vega L, Lisa C, et al. Long - term evaluation of the central vault after phakic Collamer<sup>®</sup> lens (ICL) implantation using OCT. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2012,250(12):1807-1812.
- [15] Chen X, Wang X, Xu Y, et al. Long-term comparison of vault and complications of implantable collamer lens with and without a central hole for high myopia correction: 5 years. *Curr Eye Res*, 2022,47(4):540-546.
- [16] Zhang H, Gong R, Zhang XL, et al. Analysis of perioperative

problems related to intraocular Implantable Collamer Lens (ICL) implantation. *Int Ophthalmol*, 2022,42(11):3625-3641.

[17] Eissa SA, Sadek SH, El-Deeb MW. Anterior chamber angle evaluation following phakic posterior chamber collamer lens with Centra flow and its correlation with ICL vault and intraocular pressure. *J Ophthalmol*, 2016,2016:1383289.

[18] Cao XF, Wu WL, Wang Y, et al. Comparison over time of vault in Chinese eyes receiving implantable contact lenses with or without a central hole. *Am J Ophthalmol*, 2016,172:111-117.

[19] Kamiya K, Shimizu K, Ando W, et al. Comparison of vault after implantation of posterior chamber phakic intraocular lens with and without a central hole. *J Cataract Refract Surg*, 2015,41(1):67-72.

[20] 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.

[21] Choi JH, Lim DH, Nam SW, et al. Ten-year clinical outcomes after implantation of a posterior chamber phakic intraocular lens for myopia. *J Cataract Refract Surg*, 2019,45(11):1555-1561.

[22] Li Y, Wang CY, Wu LA, et al. Application of femtosecond laser in assisted cataract after ICL implantation with different vault. *Int J Ophthalmol*, 2023,16(2):320-324.

[23] Shimizu K, Kamiya K, Igarashi A, et al. Intraindividual comparison of visual performance after posterior chamber phakic intraocular lens with and without a central hole implantation for moderate to high myopia. *Am J Ophthalmol*, 2012,154(3):486-494.

[24] Hayakawa H, Kamiya K, Ando W, et al. Etiology and outcomes of current posterior chamber phakic intraocular lens extraction. *Sci Rep*, 2020,10:21686.

[25] Kawamorita T, Uozato H, Shimizu K. Fluid dynamics simulation of aqueous humour in a posterior-chamber phakic intraocular lens with a central perforation. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2012,250(6):935-939.

[26] Hwang KY, Lim SA, Chung SH. A case of hypermature cataract formation following implantation of an implantable collamer lens with an Aquaport. *Int J Ophthalmol*, 2017,10(6):1014-1015.

[27] Gimbel HV, LeClair BM, Jabo B, et al. Incidence of implantable

Collamer lens-induced cataract. *Can J Ophthalmol*, 2018,53(5):518-522.

[28] Yang W, Zhao J, Zhao J, et al. Changes in anterior lens density after implantable collamer lens V4c implantation: a 4-year prospective observational study. *Acta Ophthalmol*, 2021,99(3):326-333.

[29] Ye YH, Zhao J, Niu LL, et al. Long-term evaluation of anterior lens density after implantable collamer lens V4c implantation in patients with myopia over 40 years old. *Br J Ophthalmol*, 2022,106(11):1508-1513.

[30] Zhou ZY, Zhao XY, Jiao XH, et al. The distribution of crystalline lens rise in high myopia population and its influence on vault after implanting intraocular collamer lens. *Ophthalmol Ther*, 2024,13(4):969-977.

[31] Trancón AS, Manito SC, Sierra OT, et al. Determining vault size in implantable collamer lenses: preoperative anatomy and lens parameters. *J Cataract Refract Surg*, 2020,46(5):728-736.

[32] Zhang J, Shao J, Zheng L, et al. Implantable collamer lens sizing based on measurement of the sulcus-to-sulcus distance in ultrasound biomicroscopy video clips and ZZ ICL formula. *BMC Ophthalmol*, 2022,22(1):363.

[33] Chen X, Shen Y, Jiang YJ, et al. Predicting vault and size of posterior chamber phakic intraocular lens using sulcus to sulcus-optimized artificial intelligence technology. *Am J Ophthalmol*, 2023,255:87-97.

[34] 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.

[35] Fernández-Vega-Cueto L, Alfonso-Bartolozzi B, Lisa C, et al. Seven-year follow-up of posterior chamber phakic intraocular lens with central port design. *Eye Vis*, 2021,8(1):23.

[36] Zaldivar R, Zaldivar R, Adamek P, et al. Intraoperative adjustment of implantable collamer lens vault by lens rotation aided by intraoperative OCT. *J Cataract Refract Surg*, 2022,48(9):999-1003.

[37] Nath M, Gireesh P. Challenges during femtosecond laser assisted cataract surgery with posterior chamber phakic intraocular lens. *Indian J Ophthalmol*, 2019,67(10):1744-1746.