·综 述·

ICL植入术矫正屈光不正安全性的研究进展

朱晶琳，童奇湖，陆勤康

doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2025.09.027
【中图分类号】 R779.6 【文献标志码】 C 【文章编号】 1671-0800(2025)09-0979-04

近视是临床上最常见屈光不正的类型，不仅会增加致盲风险[1]，还与青少年抑郁焦虑症状有关[2]。目前矫正屈光不正的手术方式包括激光角膜屈光手术和有晶体眼后房型人工晶体（implantable collamer lens，ICL）植入术。ICL植入术是高度近视患者首选术式，同时也用于治疗超出角膜屈光手术范围的中低度近视患者，其具有不切削角膜、可逆性等优点，以及良好的安全性、有效性和可预测性[3]。但术后晶体存留于眼内，会改变患者眼前节形态，因此术后安全性评估及远期并发症发生亟需引起临床重视。本文针对ICL植入术的安全性问题，将从ICL特性、安全性评估指标及术后并发症等方面进行综述，为临床提供参考。

1 ICL特性

ICL是一种后房型人工晶状体，由Collamer制成，用于矫正屈光不正，它具有高度的生物膜和晶状体囊膜生物相容性，可在眼内保持长期稳定的光学特性。ICL生物兼容性是由Collamer纤维连接蛋白的连接可抑制异物反应，且带有较弱负电荷，而房水中蛋白质也带有负电荷，同性电荷相斥从而抑制蛋白质黏附。Collamer含有可吸收紫外线的发色团，能够过滤紫外线中的UVA和UVB，可有效阻挡紫外线，从而减少眼部疾病发生。此外，Collamer表面含水量高，具有固有的抗反射界面，光线模式非常接近人体自身的晶状体，光线反射与畸变很少，视觉效果良好。

目前国内广泛使用的ICL型号是带中央孔的EVO-ICL（ICL V4c），其中心孔径为360 μm，可改善房水循环，减少术后青光眼等并发症发的发生。与激光角膜屈光手术相比，ICL植入术屈光矫正范围更广。EVO-ICL有12.1、12.6、13.2和13.7 mm 4种尺寸，能满足不同眼前节参数患者的需求。

2 安全性评估指标

2.1 拱高 拱高是评估ICL植入术后安全性的重要指标[4]，其过高或过低均会增加并发症发生率。拱高过低（＜250 μm）可能导致晶状体前表面与ICL接触，发生前囊下白内障（ASC）的风险增大[5]；拱高过高（＞750 μm）可能导致虹膜后表面与ICL摩擦，引起持续性色素播散，使患者眼压增高，房角关闭，导致继发性青光眼等并发症[6]。

影响拱高的因素包括角膜水平直径（WTW）、沟到沟距离（STS）、房角到房角（ATA）、晶状体矢高（CLR）、瞳孔直径及年龄等[7-8]。术前选择准确ICL尺寸是维持理想拱高的关键[9]。可根据角膜水平直径和前房深度（ACD）测量值来选择适合的ICL尺寸。此外，使用三维眼前房分析诊断系统测量前房容积、超声生物显微镜（UBM）测量ATA及STS等[10]，可以获得更详细解剖学参数，有助于ICL拱高预测和公式优化。

ICL植入术后拱高具有动态变化特点，与光照、瞳孔直径等因素相关，且呈下降趋势。一项长达7年的研究发现，拱高持续减少至5年后趋于稳定[11]。

2.2 最佳矫正视力（best corrected visual acuity，BCVA） BCVA是评估ICL植入术后安全性指标之一。既往研究表明，ICL植入术后6个月安全性指数为1.09～1.34[12-13]，术后5～10年安全性指数为1.03～1.12[11,14-15]。ICL光学质量较好、术后引入高阶像差较少等因素提高了术后BCVA，可为患者

基金项目： 宁波市省市共建医学重点学科（2016-S05）；宁波市视网膜视神经疾病医学研究重点实验室；宁波市科技计划项目（2022L003）
作者单位： 315040 宁波，宁波大学附属人民医院
通信作者： 陆勤康，Email：luqinkang@163.com

提供更好的视觉效果[16]。

2.3 眼压 ICL 植入术后短期内可能导致眼压升高。术后早期眼压升高多发生于术后 1 d 内，主要由术中黏弹剂残留导致。相较于传统 V4 型 ICL，EVO-ICL 瞳孔阻滞发生率较低。Hu 等[17]发现 EVO-ICL 植入术后早期眼压升高与前房角（anterior chamber angle，ACA）变窄、瞳孔直径增大有关，术后及时使用缩瞳剂可减其的发生。术后中、晚期眼压升高主要是因使用糖皮质激素导致，往往发生在术后 2 ～ 4 周，多见于糖皮质激素高敏感患者，处理不及时可导致激素性青光眼发生。此外，拱高过大造成房角关闭等因素也可引起眼压升高。有研究表明，EVO-ICL 植入术后持续性高眼压较为少见[18]。

2.4 角膜内皮细胞 角膜内皮细胞是术后重要的监测指标。当角膜内皮细胞计数（ECC）≥2 000 /mm^2 时，达到 ICL 植入术手术标准。ICL 植入术后随访 6 个月 ECC 损失率为 2.3%[13]，术后 3 年 ECC 损失率为 8.4%～ 9.7%[19]，随着时间延长渐趋稳定。Choi 等[20]认为，EVO-ICL 植入术后 ECC 损失与正常人群每年 0.6%损失率有关。ECC 短期减少可能与手术损伤、黏弹剂使用不当等因素有关；ECC 长期减少可能与虹膜升高导致内皮持续性损失及术后前房内炎症干扰角膜内皮正常代谢有关。

基于角膜内皮细胞不可再生的特殊性，为了防止术后角膜内皮细胞损失率过高导致角膜内皮失代偿风险增大，ICL 植入术对施术者技巧和术前检查要求更加严格，术前应明确患者角膜内皮功能形态，术后定期监测 ECC。若角膜内皮细胞密度过低或下降过快，应及时取出人工晶体，必要时行角膜内皮移植术。

2.5 眼前节参数 ACA、ACD 是 ICL 植入术前眼前节参数，也是评估术后安全性的重要指标之一 。ACD 是 ICL 尺寸选择的重要参数，其对术后拱高预测有一定作用。ACD≥2.8 mm 是 ICL 手术适应证，ACD 越深，手术操作空间越大。ICL 植入术后 ACA 过窄，可能会增加闭角型青光眼发生率；当术后 ACA≤20°时，房角闭合风险增加。有研究发现[21]，术后 1 d 颞侧前房角（t-ACA）显著大于鼻侧前房角（n-ACA），这可能与切口位置位于颞侧有关，手术对颞侧虹膜刺激与少量黏弹剂残留可能导致 t-ACA 和 n-ACA 短暂差异，术后 1 ～ 6 个月两者差异逐渐减小，这可能与切口愈合及眼内结构稳定有关。对于术前 ACA 狭窄、ACD 浅的患者，应谨慎选择 ICL 植入术。术后定期随访观察眼前节参数变化情况，可避免或减少继发性青光眼等并发症的发生。

3 并发症

3.1 并发性白内障 并发性白内障是 ICL 植入术后常见并发症[22]，以 ASC 为最常见，表现为前囊下混浊。低拱高是 ASC 发生的最主要因素[5]，术后房水循环障碍、年龄＞ 40 岁、ICL 与患者自身晶体接触及术前屈光度＞−12 D 等也是相关因素[23-24]。研究显示[25-26]，白内障发生率随着随访时间延长而显著上升。Wannapanich 等[3]研究发现，ICL 植入术后 ASC 和核性白内障发生率分别为 0.53%和 0.08%。ASC 发生率与年龄呈正相关，与 ACD 呈负相关，年龄＞ 45 岁，ACD ＜ 3 mm 是引起白内障危险因素[27-28]。术前全面检查，评估眼前节参数，个性化选择 ICL 尺寸，尽量使术后拱高达到理想范围，可减少 ASC 发生率。ASC 患者应定期随访，当 BCVA 明显下降时，可择期行 ICL 取出联合超声乳化白内障吸除及人工晶状体植入术。飞秒激光辅助白内障手术（FLACS）联合 ICL 摘除术也被应用于临床治疗 ASC[29]。

3.2 继发性青光眼 ICL 植入术后可发生继发性青光眼，常见为色素播散性青光眼，这是由于 ICL 尺寸较大导致术后拱高过高，从而使 ICL 与虹膜后表面持续性接触，色素播散减少。EVO-ICL 植入后通过中心孔沟通前后房，极大程度降低了瞳孔阻滞的发生率，减少术后继发性青光眼的发生。有研究报道，EVO-ICL 植入术后发生瞳孔阻滞，这可能与黏弹剂残留、虹膜色素沉着及炎症相关[6,30]。部分激素敏感性患者因术后使用糖皮质激素引起眼压升高，导致糖皮质激素性青光眼的发生。ICL 植入术后发生恶性青光眼的概率较低。术后眼压升高，应及时查明病因，使用降眼压药物及手术等措施可以减少青光眼发生。

3.3 眼内炎 ICL 植入术后眼内炎发生率较低。眼内炎可分为感染性眼内炎和无菌性眼内炎，其中感染性眼内炎是 ICL 植入术后严重并发症之一。Allan 等[31]研究显示，在 17 954 例 ICL 植入术病例中仅有 3 例出现眼内炎，发生率仅为 0.0167%。铜绿假单胞杆菌、

曲霉菌、痤疮皮肤杆菌等可引起感染性眼内炎。毒性前段综合征（TASS）可导致无菌性眼内炎的发生[32]，这可能与手术灌注液、手套滑石粉等污染有关[33]。

3.4 视网膜脱离 视网膜脱离是ICL植入术后眼底并发症之一。ICL植入过程中前房压力突然降低，可引起急性玻璃体后脱离，视网膜受到牵拉，导致视网膜脱离。孔源性视网膜脱离（RRD）可在术后数小时内发生，也可缓慢进展数月。Jiang等[34]研究表明，视网膜脱离发生率为1.5%。一项随访10年研究发现[35]，ICL植入术对RRD患病率没有影响。ICL植入术可能是高度近视患者视网膜脱离的诱因，但远期视网膜脱离发生与高度近视自然病程相关。通过散瞳检查眼底可能的病变，超广角眼底照相、光学相干断层扫描等辅助检查评估患者视网膜形态与功能，及时发现潜在裂孔及视网膜脱离风险，或预防性进行视网膜光凝治疗，可以最大程度减少患者术后视网膜脱离发生率。

3.5 ICL位置异常 ICL术后位置异常包括ICL旋转和ICL脱位。

ICL尺寸过小、患者本身睫状体和悬韧带异常均可引起ICL旋转。ICL旋转可对术后拱高产生影响，由于散光晶体带有固定轴位，其偏离可导致患者视力明显下降[36]。环曲面ICL（TICL）旋转发生率约为0.12% [37]。有研究发现87%患者在TICL植入后旋转＜5°，无需特殊干预[38]。当旋转＞30°时患者需要进行手术调位或置换晶体[39]。术前对眼前节参数和形态分析评估，观察患者睫状体形态情况及选择合适ICL尺寸，可降低术后ICL旋转发生率。

ICL脱位包括ICL半脱位和全脱位，造成其脱位的因素包括ICL尺寸偏小、黏弹剂残留、药物使用及外伤等[40-41]。Kojima等[40]研究表明，在术后82个月内ICL脱位的发生率为0.072%，这可能与暗视、外伤后瞳孔扩大等有关。Wang等[41]报道1例使用抗抑郁药物奥氮平和丁螺环酮后ICL自发脱位，这提示抗胆碱能药物可能是ICL植入术相对禁忌证。

4 总结与展望

ICL植入术后患者具有良好视力和屈光效果，被广泛应用于高度近视及部分中低度近视患者的手术治疗，术后可减轻患者戴镜负担，提升视觉质量，并提高日常生活自信和舒适度。但ICL植入后会引起眼前节结构改变，当拱高不能维持在理想范围时，可增加青光眼、白内障等并发症发生的风险，从而影响眼部健康。因此，ICL植入术后的安全性仍需被重视。临床上开展ICL植入术要密切关注患者术前眼部参数。可通过精密仪器测量、计算公式优化和人工智能应用，将患者术后眼前节参数稳定在安全范围内，从而提高手术安全性。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

[1] DU R, XIE S Q, IGARASHI-YOKOI T, et al. Continued increase of axial length and its risk factors in adults with high myopia[J]. JAMA Ophthalmol, 2021, 139(10): 1096-1103.

[2] LI D F, CHAN V F, VIRGILI G, et al. Impact of vision impairment and ocular morbidity and their treatment on depression and anxiety in children: A systematic review[J]. Ophthalmology, 2022, 129(10): 1152-1170.

[3] WANNAPANICH T, KASETSUWAN N, REINPRAYOON U. Intraocular implantable collamer lens with a central hole implantation: Safety, efficacy, and patient outcomes[J]. Clin Ophthalmol, 2023, 17: 969-980.

[4] 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.

[5] 李红惠,李芳芳,张卉卉,等.有晶状体眼后房型人工晶状体植入矫正近视及散光的长期临床研究[J].国际眼科杂志,2021,21(3):524-528.

[6] 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]. J Cataract Refract Surg, 2017, 43(11): 1468-1470.

[7] 郑丹,蒋海翔,张可,等.超高度近视有晶状体眼后房屈光晶状体植入术后拱高的影响因素分析[J].国际眼科杂志,2023,23(10):1718-1722.

[8] 王静,汪卓赟,徐婷,等.晶状体矢高对有晶状体眼后房型人工晶状体植入术后拱高的影响[J].国际眼科杂志,2021,21(2):377-381.

[9] 常巍腾,于志强.有晶状体眼人工晶状体植入术后拱高的影响因素和测量技术[J].中国眼耳鼻喉科杂志,2022,22(5):529-534.

[10] 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[J]. BMC Ophthalmol, 2022, 22(1): 363.

[11] FERNÁDEZ-VEGA-CUETO L, ALFONSO-BARTOLOZZI B, LISA C, et al. Seven-year follow-up of posterior chamber phakic intraocular lens with central port design[J]. Eye Vis (Lond), 2021, 8(1): 23.

[12] CANO-ORTIZ A, SANCHEZ-VENTOSA A, MEMBRILLO A, et al. Astigmatism correction with toric implantable collamer lens in low

and high astigmatism groups[J]. Eur J Ophthalmol, 2022, 32(1): 183-192.
[13] PACKER M. Evaluation of the EVO/EVO+ sphere and toric visian ICL: Six month results from the United States food and drug adm inistration clinical trial[J]. Clin Ophthalmol, 2022, 16: 1541-1553.
[14] CHEN X, WANG X Q, XU Y L, et al. Five-year outcomes of EVO implantable collamer lens implantation for the correction of high myopia and super high myopia[J]. Eye Vis (Lond), 2021, 8(1): 40.
[15] PAPA-VETTORAZZI M R, GUELL J L, CRUZ-RODRIGUEZ J B, 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.
[16] ALBO C, NASSER T, SZYNKARSKI D T, et al. A comprehensive retrospective analysis of EVO/EVO+ implantable collamer lens: Evaluating refractive outcomes in the largest single center study of ICL patients in the United States[J]. Clin Ophthalmol, 2024, 18: 69-78.
[17] HU Z L, CHEN C L, SUN M, et al. The relationship between anterior chamber angle and intraocular pressure early after V4c implantable collamer lens implantation[J]. J Ophthalmol, 2020, 2020: 4014512.
[18] ALHAMZAH A, ALHARBI S S, ALFARDAN F, et al. Indications for exchange or explantation of phakic implantable collamer lens with central port in patients with and without keratoconus[J]. Int J Ophthalmol, 2021, 14(11): 1714-1720.
[19] SANDERS D R, DONEY K, POCO M, et al. United States Food and Drug Administration clinical trial of the Implantable Collamer Lens (ICL) for moderate to high myopia: Three-year follow-up[J]. Ophthalmology, 2004, 111(9): 1683-1692.
[20] CHOI J H, LIM D H, NAM S W, 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.
[21] LIN Q H, YANG D, ZHOU X T. Early outcomes of anterior segment parameters after implantable collamer lens V4c implantation[J]. BMC Ophthalmol, 2022, 22(1): 429.
[22] YANG W, ZHAO J, ZHAO J, et al. Changes in anterior lens density after Implantable Collamer Lens V4c implantation: A 4-year pros pective observational study[J]. Acta Ophthalmol, 2021, 99(3): 326-333.
[23] OLESZKO A A, MAREK J J, MUZYKA-WOŹNIAK M M. Horizontal and anterior chamber diameter for phakic intraocular lens sizing[J]. Clin Exp Optom, 2021, 104(1): 62-68.
[24] IGARASHI A, KAMIYA K, ICHIKAWA K, et al. Multicenter clinical outcomes of hole implantable collamer lens implantation in middle-aged patients[J]. Sci Rep, 2022, 12(1): 4236.
[25] 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[J]. Front Med (Lausanne), 2021, 8: 799078.
[26] ALFONSO J F, FERNANDEZ-VEGA-CUETO L, ALFONSO-BARTOLOZZI B, et al. Five-year follow-up of correction of myopia: Posterior chamber phakic intraocular lens with a central port design[J]. J Refract Surg, 2019, 35(3): 169-176.
[27] FAIRAQ R, ALMUTLAK M, ALMAZYAD E, et al. Outcomes and complications of implantable collamer lens for mild to advance keratoconus[J]. Int Ophthalmol, 2021, 41(7): 2609-2618.
[28] CHEN X, WANG X Q, XU Y L, 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[J]. Curr Eye Res, 2022, 47(4): 540-546.
[29] YU Y B, ZHANG C S, ZHU Y N. Femtosecond laser assisted cataract surgery in a cataract patient with a "0 vaulted" ICL: A case report[J]. BMC Ophthalmol, 2020, 20(1): 179.
[30] FROST A, RITTER D J, TROTTER A, et al. Acute angle-closure glaucoma secondary to a phakic intraocular lens, an ophthalmic emergency[J]. Clin Pract Cases Emerg Med, 2019, 3(2): 137-139.
[31] ALLAN B D, ARGELES-SABATE I, MAMALIS N. Endophthalmitis rates after implantation of the intraocular Collamer lens: Survey of users between 1998 and 2006[J]. J Cataract Refract Surg, 2009, 35 (4): 766-769.
[32] EISSA S A. Management of pseudophakic myopic anisometropic amblyopia with piggyback Visian? implantable collamer lens[J]. Acta Ophthalmol, 2017, 95(2): 188-193.
[33] MIMOUNI M, ALIODEL BARRIO J L, ALIO J L. Occlusion of AquaPORT flow in a case of toxic anterior segment syndrome following implantable collamer lens surgery causing severe pupillary block[J]. J Refract Surg, 2020, 36(12): 856-859.
[34] JIANG T T, CHANG Q, WANG X Y, et al. Retinal detachment after phakic intraocular lens implantation in severe myopic eyes[J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2012, 250(12): 1725-1730.
[35] ARREVOLA-VELASCO L, BELTRAN J, RUMBO A, et al. Ten-year prevalence of rhegmatogenous retinal detachment in myopic eyes after posterior chamber phakic implantable collamer lens[J]. J Cataract Refract Surg, 2023, 49(3): 272-277.
[36] CHEN Q, ZENG Q Y, WANG Z, et al. Spontaneous rotation of a toric implantable collamer lens related to abnormal ciliary body morphology: A case report[J]. BMC Ophthalmol, 2020, 20(1): 350.
[37] WEI R Y, LI M Y, ARUMA A, et al. Factors leading to realignment or exchange after implantable collamer lens implantation in 10 258 eyes[J]. J Cataract Refract Surg, 2022, 48(10): 1190-1196.
[38] MOSHIRFAR M, BUNDOGJI N, TUKAN A N, et al. Toric implantable collamer lens for the treatment of myopic astigmatism[J]. Clin Ophthalmol, 2021, 15: 2893-2906.
[39] PJANO M A, PIDRO A, BISCEVIC A, et al. Refractive outcomes of posterior chamber phakic intraocular lens implantation for correction of myopia and myopic astigmatism[J]. Med Arch, 2017, 71(2): 93-96.
[40] KOJIMA T, KITAZAWA Y, NAKAMURA T, et al. Multicenter survey on implantable collamer lens dislocation[J]. PLoS One, 2022, 17(2): e0264015.
[41] WANG R, FU M J, SAVINI G, et al. Pupillary capture of implantable collamer lens after oral antidepressants[J]. Digit J Ophthalmol, 2019, 25(4): 65-67.

收稿日期：2025-04-05
（本文编辑：方能）