

ICL 植入术后拱高的预测及研究进展

刘海歌¹, 徐科², 赵满丽², 穆雅林²

引用: 刘海歌, 徐科, 赵满丽, 等. ICL 植入术后拱高的预测及研究进展. 国际眼科杂志 2023;23(9):1499-1502

基金项目: 三门峡市科技计划项目 (No.2019060315)

作者单位: ¹(471003) 中国河南省洛阳市, 河南科技大学临床医学院 河南科技大学第一附属医院; ²(472000) 中国河南省三门峡市, 黄河三门峡医院眼科

作者简介: 刘海歌, 河南科技大学在读硕士研究生, 研究方向: 屈光手术、眼视光学。

通讯作者: 穆雅林, 院长, 主任医师, 研究方向: 屈光手术、白内障. 13939867903@163.com

收稿日期: 2023-02-24 修回日期: 2023-07-25

摘要

近视被认为是在遗传-环境等因素影响下产生的一种疾病, 只能通过矫正手术恢复视力, 目前的手术方式有角膜激光手术和有晶状体眼人工晶状体植入手术 (PIOL), 其中 PIOL 具有矫正范围广、可重复手术、对角膜组织损伤小等优点, 植入人工晶状体后就可获得较好的视力改善, 可植入折叠透镜 (ICL) 植入术是目前其在临床上最常见的手术方式。植入人工晶状体的后表面中心最高点与晶状体前囊膜表面的垂直距离被称为拱高, 如果拱高异常则会带来严重并发症, 术前可以通过多项检查来预测术后拱高, 截至目前尚无最佳预测方式, 本文以拱高为中心, 讨论术后拱高的理想范围, 手术的安全性及有效性, 并对现有预测方式做出分析, 为日后的临床研究提供方向。

关键词: 有晶状体眼人工晶状体植入术; 拱高; 近视; 角膜水平直径; 睫状沟直径; 晶状体矢高; 前房角直径

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.9.15

Prediction of vault after implantable collamer lens implantation and its research progress

Hai-Ge Liu¹, Ke Xu², Man-Li Zhao², Ya-Lin Mu²

Foundation item: Science and Technology Project of Sanmenxia City (No.2019060315)

¹School of Clinical Medicine, Henan University of Science and Technology; The First Affiliated Hospital of Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, Henan Province, China;

²Department of Ophthalmology, Yellow River Sanmenxia Hospital, Sanmenxia 472000, Henan Province, China

Correspondence to: Ya-Lin Mu. Department of Ophthalmology, Yellow River Sanmenxia Hospital, Sanmenxia 472000, Henan Province, China. 13939867903@163.com

Received: 2023-02-24 Accepted: 2023-07-25

Abstract

• Myopia is considered to be a disease occurred under the influence of genetic and environmental factors, and it can only be restored by corrective surgeries. The current surgical methods include laser surgeries and phakic intraocular lens (PIOL) implantation, and PIOL has the advantages of wide range of correction, repeatable procession and small damage to corneal tissue. Furthermore, good visual acuity can be achieved after implantation of intraocular lens. Implantable collamer lens (ICL) is the most common surgical method in this group. The vertical distance between the highest point of the posterior central surface of the implanted lens and the anterior surface of the crystalline lens is called vault. It will cause serious complications if the vault turns out to be abnormal. Up to now, there is no optimal prediction method. This research focuses on vault, discusses the ideal range of postoperative vault, the safety and effectiveness of this surgery, and analyzes the existing prediction methods to provide directions for future clinical research.

• **KEYWORDS:** phakic intraocular lens implantation; vault; myopia; white to white; sulcus to sulcus; crystalline lens rise; angle to angle

Citation: Liu HG, Xu K, Zhao ML, *et al.* Prediction of vault after implantable collamer lens implantation and its research progress. *Guoji Yanke Zazhi(Int Eye Sci)* 2023;23(9):1499-1502

0 引言

近视是全球常见眼科疾病之一, 近视患者约占全球成年人口的 10%~30%, 在东亚、东南亚地区约有 80%~90% 青年人口患有近视, 患有高度近视的人群约为 2.77 亿人 (占全球人口的 4.0%)^[1]。现有的治疗方法只能减缓近视进展, 尚不能彻底根治近视, 屈光手术是目前改善高度近视患者视功能的最佳方法。现阶段的屈光手术包括角膜屈光手术和眼内晶状体植入手术, 角膜屈光手术主要针对低中度近视, 该手术会影响角膜的功能和结构, 对高度近视的完全矫正会增加术后近视回退及角膜扩张等并发症的发生风险^[2]。ICL (implantable collamer lens) 植入术则是向患者眼内植入人工晶状体, 对角膜影响小, 且可行二次手术调整手术效果, 同时可矫正的屈光度范围较角膜屈光手术更广, 高度近视患者多选择该手术方式矫正视力。但 ICL 植入术因其特有的手术方式也存在一些并发症, 如继发性青光眼、并发白内障等。

植入 ICL 的后表面中心最高点与晶状体前囊膜表面的垂直距离被称为拱高, 如拱高过高, ICL 推动虹膜向前房方向移动, 引起前房深度及体积减小, 前房角形态改变, 容易产生继发性青光眼; 如拱高过低, ICL 后表面与晶状

体之间距离减小,易引起白内障,因此,拱高的预测非常重要。目前仅能通过术前检查参数进行预测,但预期拱高与实际拱高存在差异,由于预测效果的局限性,仍有患者术后拱高异常,并需要行手术解决,为这些患者带来了较大痛苦,这也是目前 ICL 植入术面临的主要问题,现有多种参数被用于术前拱高的预测,包括角膜水平直径(white to white,WTW)、睫状沟直径(sulcus to sulcus,STS)、前房角直径(angle to angle,ATA)、睫状沟平面到晶状体表面垂直距离(distance between STS plane and crystalline lens,STSL)、晶状体厚度(lens thickness,LT)、晶状体矢高(crystalline lens rise,CLR)等,了解这些参数与拱高的联系,并通过相关数据更准确地预测拱高,是眼科临床医生关注的一个重点,本文针对上述问题的研究进展进行综述。

1 ICL 的特点及发展过程

ICL 植入术需向眼内植入一枚人工晶状体,在显著减少损伤角膜的同时,保留晶状体的调节能力,属于有晶状体眼植入人工晶状体(phakic intraocular lens,PIOL)植入术的一种。该类手术最早于1953年被意大利外科医生 Strampelli 与 Dannheim 应用于临床^[3],1970年荷兰外科医生 Jan Worst 改进了人工晶状体的固定结构^[4],使其获得了更好的固定能力,1980年眼科手术医师开始将人工晶状体放置于睫状沟内,但是由于设计和材质问题,植入的人工晶状体后表面距离自身晶状体过近,容易诱发白内障形成,直到1986年 Fyodorov 对后房型人工晶状体重新进行了设计,将原先扁平状的人工晶状体结构改进为“蘑菇状”,从而获得了更适宜的人工晶状体与晶状体距离,白内障的发生率才显著降低,2005年瑞士 STAAR 公司向美国食品药品监督管理局(FDA)提交了 ICL V4 型人工晶状体的临床使用申请,并获批上市,在后续的临床应用中发现,该型人工晶状体容易引起眼压升高和白内障,2011年一种具有中央孔的改良的后房型人工晶状体,即 ICL V4c 被应用于临床。该型号人工晶状体形状为矩形四足襟,光学区直径为4.9~5.8mm,呈拱形突出于足襟平面,材料是由60%的聚羧甲基丙烯酸乙酯、36%的水及3.8%的二苯酮组成的胶原共聚物,对气体及代谢产物具有良好的通透性,可吸收紫外线并可折叠,除了位于对侧足襟的2个附加孔外,还拥有1个0.36mm的中央孔,这种设计促进了房水的自由流动,避免了术前周边虹膜切开,同时更利于术中黏弹剂置换。镜片直径为对侧足襟顶部之间的距离,有4种尺寸,分别是12.1、12.6、13.2、13.7mm,可矫正近视的屈光度范围为-0.5~-20.0D,还有同设计材料及形状的环曲面 ICL(toric implantable collamer lens,TICL),解决了散光患者的需求,其矫正散光范围为1.00~6.00D,轴位则需根据患者散光情况设计。

2 ICL 植入术的有效性、安全性与拱高的理想范围

ICL 植入术后的主要不良反应为晶状体前囊下混浊和眼压升高,二者的发生率与拱高大小密切相关,术后拱高过低者易发生晶状体前囊下混浊,Gonzalez-Lopez 等^[5]研究纳入 ICL 植入术患者16例24眼,ICL 植入时间均在4a以上(平均 $5.82\pm 0.9a$),该研究动态监测拱高的变化,光照环境下观察拱高均低于 $100\mu\text{m}$,平均 $52\pm 19\mu\text{m}$,最小值为 $9\mu\text{m}$,最大值为 $94\mu\text{m}$;暗室环境下观察拱高平均 $113\pm 37\mu\text{m}$,最小值为 $45\mu\text{m}$,最大值为 $183\mu\text{m}$;患者术前平均等效球镜(spherical equivalent,SE)为 $8.67\pm 0.71D$,术后

3mo 平均 SE 为 $0.10\pm 0.23 (+0.50\sim 0.75)D$;术后平均裸眼视力(uncorrected distance visual acuity,UDVA)为 $0.03\pm 0.05\text{LogMAR}$,平均最佳矫正视力(corrected distance visual acuity,CDVA)为 $0.01\pm 0.01\text{LogMAR}$;术后仅出现1例1眼前囊膜下晶状体混浊(4.17%)。分析认为,ICL 植入术后,不低于 $100\mu\text{m}$ 的拱高在较长时间的观察中是安全的,可能的原因 ICL V4c 具有中央孔,较低的拱高对于房水有促进循环的作用,对于晶状体组织代谢具有积极作用。Gimbel 等^[6]对1653例植入 ICL V4 的患者进行长达10a的随访,第1a平均拱高 $559.0\pm 180.8\mu\text{m}$,第10a平均拱高 $352.9\pm 171.8\mu\text{m}$,其中46例患者出现前囊膜下混浊,1例患者出现继发性青光眼(色素播散性青光眼,ICL 未移除)。该研究将晶状体混浊作为观察要素,将纳入患者分为两组,无混浊组第1、7、10a 平均拱高分别为 557.1 ± 173.5 、 402.1 ± 158.0 、 $388.2\pm 174.0\mu\text{m}$,混浊组第1、7、10a 平均拱高分别为 512.1 ± 82.9 、 317.5 ± 104.8 、 $228.5\pm 86.6\mu\text{m}$,晶状体混浊发生时间平均为 $7.3\pm 2.2a$,两组间术后早期的拱高差异比两组间术后晚期的拱高差异更小,提示晶状体混浊的风险与 ICL 植入术后拱高的变化有关。Schmidinger 等^[7]研究纳入 ICL V4 植入术患者84例,随访10a 发现拱高每年下降 $28\mu\text{m}$,这与晶状体每年厚度增长 $20\mu\text{m}$ 相仿,提示每年拱高的减少与晶状体厚度增加有关,故认为 ICL 手术需将拱高随时间的变化纳入考虑,并预测10a 内为预防发生晶状体前囊膜下混浊,术后早期拱高需 $>400\mu\text{m}$,25a 内为预防发生晶状体前囊膜下混浊,术后早期拱高需 $>700\mu\text{m}$ 。由于上述研究中使用的人工晶状体均为 ICL V4,与目前主要使用的人工晶状体型号 ICL V4c 结构不同,ICL V4c 植入后的拱高变化及其对晶状体的影响仍需进一步观察。Zhu 等^[8]研究对植入 ICL V4 及 ICL V4c 的患者随访6mo,结果显示,随访期间,两者拱高的变化无显著差异,说明 ICL V4c 在术后短期内的变化可以参考 ICL V4 的研究结果。

ICL 植入术后继发眼压升高,也可能与术后拱高异常有关。ICL 的植入位置位于睫状沟,过高的拱高会挤压虹膜前移,改变前房角形态,引起眼压升高,若不及时处理最终会导致继发性视神经纤维功能受损。既往关于 ICL 植入术后拱高的研究重点关注拱高的下限,对于 ICL 拱高的上限沿用了 ICL V4 的标准,即最大拱高不超过 $1000\mu\text{m}$,Nam 等^[9]研究纳入 ICL V4c 植入术患者43例,术后随访6mo,2例患者拱高超过 $1000\mu\text{m}$,分析与前房角度数过小有关(36.2° 、 32°),该研究纳入患者均未出现严重不良反应。为了减少 ICL 植入术后发生不良反应,拱高的下限为 $100\mu\text{m}$,上限为 $1000\mu\text{m}$ 。但拱高会随时间发生变化,所以在手术设计时应为术后预留足够的缓冲区间,该范围还需对 ICL V4c 植入眼内后的拱高变化进行动态研究,现有研究中采用 $250\sim 750\mu\text{m}$ 的患者,手术的有效性、安全性已得到证实,对于拱高 $100\sim 250$ 、 $750\sim 1000\mu\text{m}$ 区间的患者应加以观察 ICL 植入眼内后的拱高变化。

3 拱高的影响因素

拱高在术前无法检测,如术后出现拱高明显异常,需移除 ICL,这无疑增加了患者的负担和发生不良事件的几率,所以术前对拱高做出准确预测可以增加手术成功率,提高患者的满意度。根据目前的研究可以将影响拱高的因素分为两类:(1)ICL 植入睫状沟后,因 ICL 与周边组织接触,水平方向的力引起 ICL 形变;(2)垂直于视轴的解

剖结构位置与 ICL 的关系。第一类影响因素包括 ICL 的尺寸、WTW、STS、睫状突直径 (anterior chamber width, ACW)、ATA; 第二类影响因素包括前房深度 (anterior chamber depth, ACD)、CLR、STSL 等^[10-16]。

3.1 拱高与 WTW、STS、ACW 和 ATA 的关系 影响 ICL 形变的因素主要为 ICL 所受的水平压力, 尺寸越大的 ICL 受到挤压的力越大, 产生的拱高越高, 目前临床上根据 STAAR 公司的推荐, 使用含有 WTW 与 ACD 的参考表选择 ICL 尺寸, 由于 ICL 的尺寸为非连续变量, 无法使用多元逐步线性回归方程直接分析 ICL 尺寸与拱高的关系, 所以需要将 ICL 尺寸转化为连续变量。Lee 等^[17] 研究中计算了 WTW、STS 与 ICL 尺寸的差值, 并以此作为变量进行分析, 结果显示 WTW、STS 与 ICL 尺寸的差值和拱高呈正相关。Zhao 等^[18] 研究同样对 WTW、STS 与 ICL 尺寸的差值进行了分析, 结果却与 Lee 等^[17] 研究相反, 分析其原因可能与二者测量 WTW 所用的仪器不同有关, 提示后续研究需完善测量 WTW 值的仪器间的一致性。

另有研究指出 WTW 与 ICL 所放置的睫状沟的直径相关性欠佳^[19-20], STS 值作为 ICL 植入平面的直径较 WTW 更具优势, 因此 Zhang 等^[21] 使用高频 UBM 测量 STS, 并以此建立了 ZZ-公式, 该研究纳入 ICL 植入术患者 168 例, 植入的 ICL 尺寸均按照 STAAR 参考表选择, 术后发现 ZZ-公式预测的 ICL 尺寸大于或等于实际植入 ICL 尺寸的情况下, 预测拱高与实际拱高无明显差异, 而在 ZZ-公式预测的 ICL 尺寸小于实际植入 ICL 尺寸的情况下, 预测拱高则明显大于实际拱高, 产生了预测值过高的倾向, 但在最后的结果中, 所有术眼两者间差值均小于 500 μm , 故认为采用高频 UBM 测量 STS, 可用于预测拱高且效果优于 WTW。然而, 上述公式仍未被眼科医生广泛采用, 不仅是因为曾有 Meta 分析指出基于 WTW 与 STS 的预测方式无明显差异^[19-20], 而且 UBM 测量需要探针-传感器与眼睛接触, 费时且需要检查者具有一定的经验, 检查者的主观性可能干扰测量值。由于设备及软件的差异性, 应在临床应用前对该方式进行充分的科学验证。

Malyugin 等^[13] 和 Igarashi 等^[11] 研究分别探讨了 ATA、虹膜根部直径与 STS 的相关性, 并以其作为参数选择 ICL 尺寸, 发现二者均与 STS 具有相关性。Nakamura 等^[14] 研究采用 AS-OCT 测量眼前节参数 ACD、CLR、晶状体拱高 (lens vault, LV)、ACW 和 ATA, 进行多元逐步线性回归分析得出公式 $ICL\ size (mm) = 4.20 + 0.719 \times ACW (mm) + 0.655 \times CLR (mm)$, 被称为 NK-公式, 但在验证时发现根据公式所选择的 ICL 植入眼内后, 实际测量拱高均大于预测拱高, 为了解决术后拱高过高的问题, Nakamura 等^[15] 将选择 ICL 的尺寸转化为选择 ICL 尺寸间隔的中位数 (12.35、12.9、13.45mm), 以获得更小的区间减少术后拱高过高的问题, 经过校正的 NK2-公式为 $ICL\ size (mm) = 4.575 + 0.688 \times ACW (mm) + 0.388 \times CLR (mm)$, 在后续临床研究纳入患者 42 例 68 眼, 91.2% 术眼获得了适宜的术后拱高 (250~1000 μm), 7.3% 术眼术后拱高过高, 提示减少 ICL 尺寸间隔, 增加 ICL 的尺寸选项, 有助于控制术后拱高, 并且对于 ICL 的膨胀系数需要在 ICL 植入眼内后进一步观察。

目前对于第一类因素的研究发现, 基于 STS 和 ACW 的公式均具有较好的预测能力, 在条件充分的情况下, 选择 STS 作为预测因素, 无疑是合理的方式, 但因为测量

STS 对于患者及检查者的要求较高, 所以在缺乏相应条件的情况下, 选择基于 ACW 研发的公式更为合适。

3.2 拱高与 CLR、STSL 的关系 Kojima 等^[12] 研究纳入 ICL 植入术患者 43 例 81 眼, 术前均根据 STAAR 参考表选择 ICL 尺寸, 将术前参数纳入多元逐步线性回归方程后, 推导公式为 $ICL\ size (mm) = 3.75 + 0.46 \times STS + 0.95 \times ACD + 1.25 \times STSL$, 也称为 K-公式, 其中 88.9% 的患者获得了适宜的拱高 (150~1000 μm), 结果表明 STSL 的应用显著提高了预测公式的准确性, 但仍有 11.1% 的患者术后拱高超过 1000 μm 。Reinstein 等^[22] 在 K-公式的基础上进行了进一步研究, 纳入的 42 例患者 ICL 植入术前均使用 K-公式选择 ICL 尺寸, 并对术前参数进行多元逐步线性回归分析, 得出 Reinstein-公式 v1.0, 重复以上步骤得出 Reinstein-公式 v2.0, 该研究将 500 μm 设为理想拱高, 使用 Reinstein-公式 v1.0 的患者 100% 拱高在 500 \pm 300 μm 区间; 使用 Reinstein-公式 v1.0 的患者 94% 拱高在 500 \pm 300 μm 区间, 说明 STSL 对于 ICL 尺寸的选择有重要意义。

CLR 是虹膜角膜夹角连线与晶状体前表面的距离, 受虹膜形态与晶状体厚度的影响, 被认为是影响拱高的重要因素。王静等^[23] 研究发现, CLR 与术后拱高呈负相关, CLR 越大则术后拱高越小。Gonzalez-Lopez 等^[24] 对 ACD、CLR 和拱高进行相关性分析发现, CLR 和 ACD 呈负相关, CLR 与拱高呈负相关, 并发现不同光照环境下 ACD 和晶状体位置会发生变化, 使 CLR 值增加或缩小。所以在选择 ICL 尺寸时不仅需要考虑到 CLR 的大小, 还需控制测量 CLR 时的光照条件。

3.3 拱高与房角形态、瞳孔直径、年龄的关系 除了用以选择 ICL 尺寸的参数外, 房角形态、瞳孔直径和年龄同样与拱高具有相关性。崔同峰等^[25] 研究发现后房角度数越小, 拱高越高, 尤其是后房角 <30° 会导致更高的拱高。Lee 等^[26] 研究发现, 在不同亮度下拱高会随着瞳孔直径的变化而发生改变, 光照环境下拱高为 399.5 \pm 151.9 μm , 瞳孔直径为 3.01 \pm 0.55mm; 暗视环境下拱高为 399.5 \pm 151.9 μm , 瞳孔直径为 5.33 \pm 0.94mm; 在不同光线环境下, 测得的拱高的平均差值为 147.5 \pm 59.4 μm , 差异显著 ($P < 0.05$), 分析其原因为瞳孔直径随亮度改变, 虹膜对 ICL 的压力也发生相应改变, 最终引起拱高变化。Cerpa Manito 等^[16] 研究观察年龄与拱高的相关性, 结果发现, 年龄越大的患者术后发生低拱高的几率越大, 同时年龄也是高拱高的保护因素 ($OR = 0.92, 95\% CI 0.88 \sim 0.98$), 并且发现 TICL 与 ICL 间的拱高差异不显著。临床发现, 年龄、瞳孔直径、房角形态均会影响拱高的变化, 但由于各自的特点无法进行多元逐步线性回归分析, 无法被纳入拱高的预测公式中, 未来需要建立不同年龄、不同瞳孔直径、不同房角形态的预测标准。

3.4 人工智能在拱高预测中的作用 传统的通过多元逐步线性回归分析的过程中有大量影响因素为非连续变量, 并无法转化为连续变量, 这对最后的预测结果造成了影响, 因此大数据分析及人工智能学习的方式也被应用到术后拱高的预测。Shen 等^[27] 研究纳入 ICL 植入术患者 3 536 例 6 297 眼, 收集 ICL 尺寸、ACD、瞳孔直径、ACA、角膜厚度、眼轴、术后随访时间、K 值、WTW、ICL 球镜度数、ICL 种类、ICL 柱镜度数进行分析, 结果发现 ICL 尺寸、ACD、瞳孔直径为术后拱高的主要影响因素, 随机树状图结果最优, 可得出 82.2% 的预测效果, 但随机树状图的

$R^2=0.316$,分析原因可能是因为 ICL 的尺寸是拱高预测中最大的影响因素,但与其他变量不同,ICL 的尺寸只有 4 种,由于 ICL 尺寸在预测中所占的权重导致无法得出理想的 R^2 值。此外,拱高随时都在变化,无法通过测量一瞬间的参数预测真实的拱高,该研究将拱高分为 $V<250\mu\text{m}$ 、 $V=250\sim 750\mu\text{m}$ 、 $V>750\mu\text{m}$ 三组,并将模型目标改为预测拱高的分组情况,预测效果得到提升。Xu 等^[28]研究采用神经网络分析提高拱高的预测水平,纳入患者 74 例 137 眼,并采集 ICL 尺寸、ACD、瞳孔直径、ATA、STS、WTW、ICL 球镜度数、LT、ICL 柱镜度数作为输入层神经元,拱高作为输出层,在经过 1~2 层隐藏层后,得出包含 ICL 尺寸、ACD、ATA、LT 等 4 项因素的模型,预测效果更理想($R^2=0.90$),认为神经网络可用来预测拱高,但目前的模型中所纳入的样本量仍然太小,需在后续研究中增加样本量。

4 总结

目前我国以及东亚地区的近视人群不断增多,且有低龄化的趋势,可以预见将有大量需要进行视力矫正手术的患者,ICL 植入术对于中高度近视的矫正有着较好的临床效果。随着 ICL 临床应用的不断增多和研究的不断深入,发现拱高是影响视觉质量的一个重要因素,如何准确估计术后拱高显得十分重要。目前主要通过多种测量方式和公式预测拱高,其中基于 STS 值开发的公式效果最佳,但在实际应用中仍面临可重复性差、侵入性检查易引起患者不适等缺点。为了减少患者的不适和降低检查者的操作难度,在未来需增加对于 ACW、WTW 等参数的开发。目前仍存在许多与拱高相关的参数,但无法体现在传统的计算方式中,这可能需要研发新的计算公式,或通过人工智能技术完成推导,这就需要增加现有模型的学习量,增加 ICL 尺寸和型号,这也是未来 ICL 植入术的发展方向。

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. *Ophthalmology* 2016;123(5):1036-1042
- 2 李康寓,张凌子,宋小翠,等. SMILE 和 ICL 矫正中低度近视术后角膜前后表面和总角膜高阶像差的变化. *国际眼科杂志* 2018;18(12):2289-2292
- 3 Oakley CL, Nigro MA, Vote BJ. Fifty-year follow-up and Strampelli anterior chamber intraocular lens. *GMS Ophthalmol Cases* 2015;5:6
- 4 Hu SF, Wang ML, Xiao TL, et al. Iris reconstruction combined with iris-claw intraocular lens implantation for the management of iris-lens injured patients. *Indian J Ophthalmol* 2016;64(3):216-221
- 5 Gonzalez-Lopez F, Bouza-Miguens C, Tejerina V, et al. Long-term assessment of crystalline lens transparency in eyes implanted with a central-hole phakic collamer lens developing low postoperative vault. *J Cataract Refract Surg* 2021;47(2):204-210
- 6 Gimbel HV, LeClair BM, Jabo B, et al. Incidence of implantable Collamer lens-induced cataract. *Can J Ophthalmol* 2018;53(5):518-522
- 7 Schmidinger G, Lackner B, Pieh S, et al. Long-term changes in posterior chamber phakic intraocular collamer lens vaulting in myopic patients. *Ophthalmology* 2010;117(8):1506-1511
- 8 Zhu Y, Zhang J, Zhu HB, et al. The effect of mydriasis on moderate-to-high myopic eyes with implantable collamer lenses V4 and V4c. *Eur J Ophthalmol* 2020;30(3):462-468
- 9 Nam SW, Lim DH, Hyun J, et al. Buffering zone of implantable Collamer lens sizing in V4c. *BMC Ophthalmol* 2017;17(1):260
- 10 Dougherty PJ, Rivera RP, Schneider D, et al. Improving accuracy of

- phakic intraocular lens sizing using high-frequency ultrasound biomicroscopy. *J Cataract Refract Surg* 2011;37(1):13-18
- 11 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
- 12 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
- 13 Malyugin BE, Shpak AA, Pokrovskiy DF. Posterior chamber phakic intraocular lens sizing based on iris pigment layer measurements by anterior segment optical coherence tomography. *J Cataract Refract Surg* 2015;41(8):1616-1622
- 14 Nakamura T, Isogai N, Kojima T, et al. Implantable collamer lens sizing method based on swept-source anterior segment optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 2018;187:99-107
- 15 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
- 16 Cerpa Manito S, Sánchez Trancón A, Torrado Sierra O, et al. Biometric and ICL-related risk factors associated to sub-optimal vaults in eyes implanted with implantable collamer lenses. *Eye Vis* 2021;8(1):26
- 17 Lee DH, Choi SH, Chung ES, et al. Correlation between preoperative biometry and posterior chamber phakic Visian Implantable Collamer Lens vaulting. *Ophthalmology* 2012;119(2):272-277
- 18 Zhao J, Zhao J, Yang W, et al. Consecutive contralateral comparison of toric and non-toric implantable collamer lenses V4c in vault after implantation for myopia and astigmatism. *Acta Ophthalmol* 2021;99(6):e852-e859
- 19 Reinstein DZ, Archer TJ, Silverman RH, et al. Correlation of anterior chamber angle and ciliary sulcus diameters with white-to-white corneal diameter in high myopes using Artemis VHF digital ultrasound. *J Refract Surg* 2009;25(2):185-194
- 20 Packer M. Meta-analysis and review: effectiveness, safety, and central port design of the intraocular collamer lens. *Clin Ophthalmol* 2016;10:1059-1077
- 21 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
- 22 Reinstein DZ, Archer TJ, Vida RS, et al. New sizing parameters and model for predicting postoperative vault for the implantable collamer lens posterior chamber phakic intraocular lens. *J Refract Surg* 2022;38(5):272-279
- 23 王静,汪卓赞,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. *国际眼科杂志* 2021;21(2):377-381
- 24 Gonzalez-Lopez F, Bilbao-Calabuig R, Mompean B, et al. Determining the potential role of crystalline lens rise in vaulting in posterior chamber phakic collamer lens surgery for correction of myopia. *J Refract Surg* 2019;35(3):177-183
- 25 崔同峰,周进,王铮. ICL 植入术后异常拱高相关影响因素. *中华眼视光学与视觉科学杂志* 2019;21(7):534-539
- 26 Lee H, Kang SY, Seo KY, et al. Dynamic vaulting changes in V4c versus V4 posterior chamber phakic lenses under differing lighting conditions. *Am J Ophthalmol* 2014;158(6):1199-1204. e1
- 27 Shen Y, Wang L, Jian WJ, et al. Big-data and artificial-intelligence-assisted vault prediction and EVO-ICL size selection for myopia correction. *Br J Ophthalmol* 2023;107(2):201-206
- 28 Xu K, Liu XX, Lei YM, et al. Use of neural networks to predict vault values after implantable collamer lens surgery. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2021;259(12):3795-3803