

# 有晶状体眼人工晶状体尺寸选择的研究进展

李 易<sup>1</sup>, 吴鹏程<sup>2</sup>, 张文芳<sup>2</sup>

引用:李易, 吴鹏程, 张文芳. 有晶状体眼人工晶状体尺寸选择的研究进展. 国际眼科杂志 2023;23(8):1305-1311

作者单位:<sup>1</sup>(730000)中国甘肃省兰州市,兰州大学第二临床医学院;<sup>2</sup>(730030)中国甘肃省兰州市,兰州大学第二医院眼科

作者简介:李易,在读硕士研究生,研究方向:眼底病。

通讯作者:张文芳,毕业于北京大学,博士,主任医师,教授,博士研究生导师,研究方向:眼底病. zhwenf888@163.com

收稿日期:2022-09-13 修回日期:2023-07-05

## 摘要

有晶状体眼人工晶状体(ICL)植入术在治疗屈光不正中发挥着越来越重要的作用。从前房型 ICL 到后房型,再到中心孔型的 ICL,给视界带来全新的改变。虽然目前 ICL 术后并发症发生率很低,但是在 ICL 的尺寸选择中仍会因为设备测量差异及 ICL 尺寸算法不同导致植入不当的 ICL,引发相关并发症。随着对 ICL 植入术认识地不断深入,以及眼科设备及技术地不断发展,特别是人工智能的出现,使得越来越多的指标如:睫状沟直径(STS)、晶状体矢高(CLR)、前房角直径(ATA)、虹膜色素端到虹膜色素端(PTP)、前房宽度(ACW)、前房角度数(ACA)等指标在 ICL 尺寸的选择中提供参考,本文就 ICL 尺寸选择进行综述。

**关键词:**有晶状体眼人工晶状体;尺寸选择;拱高;人工智能

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.8.13

## Research advances in the size selection of implantable collamer lens

Yi Li<sup>1</sup>, Peng-Cheng Wu<sup>2</sup>, Wen-Fang Zhang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The Second Clinical College of Medicine of Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu Province, China; <sup>2</sup>Department of Ophthalmology, Lanzhou University Second Hospital, Lanzhou 730030, Gansu Province, China

**Correspondence to:** Wen - Fang Zhang. Department of Ophthalmology, Lanzhou University Second Hospital, Lanzhou 730030, Gansu Province, China. zhwenf888@163.com

Received:2022-09-13 Accepted:2023-07-05

## Abstract

• The implantable collamer lens (ICL) is a widely popular option for the correction of refractive errors. ICL implantation brings a whole new dimension to the vision, from the anterior chamber phakic ICL to the posterior and central hole ICL. Even though there are fewer reported complications, ICL size selection remains challenging due

to the differences in device measurements and ICL sizing formulas. With the widening comprehensiveness of ICL implantation and the ongoing development of ophthalmic devices and technologies, particularly the advent of artificial intelligence, more and more indicators such as sulcus-to-sulcus (STS), crystalline lens rise (CLR), angle-to-angle (ATA), the iris pigment end to the iris pigment end (PTP), anterior chamber width (ACW), and anterior chamber angle (ACA) are providing references in the selection of ICL size, this article provides a review of ICL size selection.

• **KEYWORDS:** implantable collamer lens; size selection; vault; artificial intelligence

**Citation:** Li Y, Wu PC, Zhang WF. Research advances in the size selection of implantable collamer lens. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2023;23(8):1305-1311

## 0 引言

近视是全球面临的重大公共卫生问题,据估计到2050年,近视患者约占世界人口总量的49.8%,约48亿人,高度近视约9.38亿人,占比9.8%<sup>[1]</sup>,较早研究发现东亚部分地区近视患病率可高达80%~90%<sup>[2]</sup>。目前国家通过大力推动、监管近视防控工作来预防或延缓视力下降,但是对于已经近视,特别是高度近视的患者,提高其生活质量成为了科研与临床实践的重点。自屈光手术开展以来,大量研究不断深入,以获得更精准的屈光结果和更低的并发症。目前临床上屈光不正手术矫正包括角膜与眼内屈光手术,眼内屈光手术最常用的是后房型有晶状体眼人工晶状体(implantable collamer lens, ICL)植入术,其无需切割角膜,可置换或取出,矫正度数范围广,视力恢复快,视觉质量及屈光稳定性好,尤其适用于超高度或角膜较薄的近视患者,该植入术在中低度近视、老视人群也开展了相关临床研究<sup>[3-4]</sup>。大量研究证明了ICL植入术的有效性、安全性、可预测性及稳定性<sup>[5-8]</sup>,但其仍存在一定的并发症。眼内植入不合适的ICL与术后并发症有关<sup>[9-10]</sup>,最常见的包括前囊下白内障<sup>[10-11]</sup>,还有色素播散、人工晶状体旋转等。多项研究指出环曲面型ICL(Toric ICL, TICL)植入术后ICL发生旋转需二次手术干预<sup>[12-15]</sup>,AlSabaani等<sup>[15]</sup>回顾性分析ICL植入术后的787眼,有30眼需要二次手术,其中因ICL尺寸不当需要置换有22眼(73.3%)。

随着眼科设备技术的不断发展,研究者对ICL植入术的认识也愈加深刻,越来越多的眼前节测量指标为ICL尺寸的选择提供参考,本研究就相关ICL尺寸的选择展开综述。

## 1 ICL 结构及特性

Visian ICL(STAAR Surgical AG)是由FDA批准的后

房型 ICL,目前广泛使用的 EVO Visian ICL (ICL V4c) 于 2011 年推出。ICL 由胶原共聚物 (Collamer) 生物相容性材料制成,包含连接胶原、吸收紫外线的发色团和亲水性羟甲基丙烯酸酯 (HEMA)。连接胶原带负电荷,使房水中带负电荷的蛋白不易沉积于生物材料表面,发色团可吸收 90% 以上的紫外线,阻止紫外线对眼的损伤。ICL V4c 中央有一直径 0.36mm 的中心孔,中心孔的设计保留了房水循环的生理功能,避免了术前行虹膜切开术,手术过程中也利于黏弹剂的清除。ICL V4c 襟为平角状的设计,中间一个向前凸的光学区 (图 1),光学直径范围达 4.9 ~ 5.8mm<sup>[16]</sup>,其可矫正的球镜度数为 -0.5 ~ -18.0D,柱镜度数为 +0.5 ~ +6.0D。ICL V4c 有 4 种尺寸分别为:12.1、12.6、13.2 和 13.7mm,可折叠,不仅可以缩小手术的切口,还可以降低术源性的损伤及散光。2016 年推出的新型号 EVO+Visian ICL (ICL V5) 在临床也投入使用,相较于 ICL V4c,具有较大的光学直径 (5.0 ~ 6.1mm),夜间主观视觉质量更好<sup>[12]</sup>。

## 2 ICL 尺寸选择

### 2.1 ICL 尺寸选择与角膜水平直径和前房深度的关系

最初,关于 ICL 直径的计算及选择围绕角膜水平直径 (white to white, WTW) 和前房深度 (anterior chamber depth, ACD) 两个变量进行:ACD ≤ 3.5mm 者,ICL 直径为 WTW + 0.5mm; ACD ≥ 3.5mm 者,ICL 直径等于 WTW + 1.0mm<sup>[17-18]</sup>。目前临床及大多数研究参照的是晶状体厂商 (STAAR 公司) 推荐的列线图 (表 1),在线计算获取 (<https://evo-ocos.staarag.ch/>),该算法仍以 WTW 与 ACD 两个变量进行,得到了普遍的公认。由美国莫兰研究咨询公司开发的优化 WTW 法,也用来选择 ICL 尺寸,具体算法见表 2。依据 WTW 选择 ICL 尺寸是以 WTW 与睫状沟直径 (sulcus-to-sulcus diameter, STS) 之间存在相关性为前提的。WTW 对于 ICL 尺寸的选择意义重大,临床上多种设备可提供 WTW 测量值,其中主观测量仪器包括:量规、卡尺;客观测量设备包括: Pentacam、IOL Master、OPD Scan、Lenstar、Sirius、Galilei 和 Orbscan 等。量规和卡尺的测量存在主观判断,操作相对耗时,临床上已经不在常规使用。可提供 WTW 测量值的设备种类众多,但是由于仪器内置不同的检测技术,测量结果存在一定差异。不同研究报道了相关仪器在测量 WTW 时的重复性和一致性<sup>[19-23]</sup>。Salouti 等<sup>[23]</sup>对比 Orbscan IIz 和 Pentacam HR 测量 WTW,发现 Pentacam HR 获得的平均 WTW 测量值为 11.76 ± 0.38mm, Orbscan IIz 获得的测量值为 11.66 ± 0.37mm,二者测量结果高度相关,两种设备在临床实践中可以互换使用;Shajari 等<sup>[21]</sup>研究认为 Pentacam HR、IOL Master 500、Lenstar 900 和 Visante OCT 在测量 WTW 可以互相替换。但也有研究指出各仪器之间测量存在差异,不可互换<sup>[24-25]</sup>,临床上推荐至少 2 种以上设备 (Orbscan、Pentacam、IOL Master) 所测的 WTW 值作为 ICL 尺寸选择的参考。除了仪器影响之外,角膜绿色素沉着、角膜周边变性、结膜、黄斑等也会影响 WTW 的测量准确性。ACD 测量值在选择 ICL 尺寸的临界值时发挥着重要作用,不同设备所测的 ACD 值也有差异,但其临床意义较 WTW 影响小。精确测量 WTW 是 ICL 尺寸选择的关键之一,但是在 WTW/ACD 传统尺寸选择中,Ghoreishi<sup>[26]</sup>发现仍然有 23% 的术眼术后拱高偏高或偏低,Choi 等<sup>[27]</sup>研究

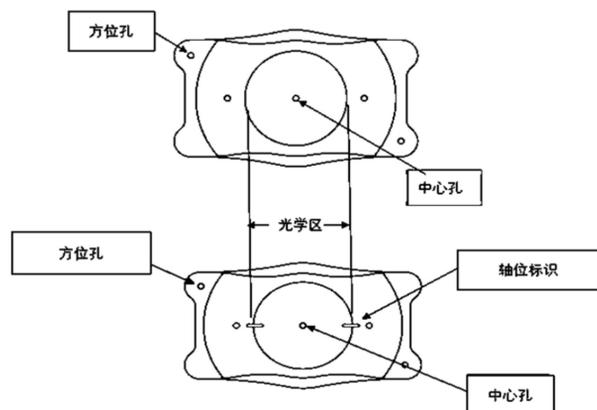


图 1 ICL V4c/TICL V4c 晶状体示意图 (改编自参考文献[16])。

表 1 晶状体厂商推荐的 ICL 尺寸算法

角膜水平直径 (mm)	前房深度 (mm)	推荐 ICL 尺寸 (mm)
<10.5	任意	不推荐
10.5 ~ 10.6	≤3.5	不推荐
10.5 ~ 10.6	>3.5	12.1
10.7 ~ 11.0	任意	12.1
11.1	≤3.5	12.1
11.1	>3.5	12.6
11.2 ~ 11.4	任意	12.6
11.5 ~ 11.6	≤3.5	12.6
11.5 ~ 11.6	>3.5	13.2
11.7 ~ 12.1	任意	13.2
12.2	≤3.5	13.2
12.2	>3.5	13.7
12.3 ~ 12.9	任意	13.7
≥13	任意	不推荐

表 2 优化 WTW 算法

角膜水平直径 (mm)	推荐 ICL 尺寸 (mm)
10.7 ~ 11.4	12.1
11.5 ~ 12.1	12.6
12.2 ~ 12.7	13.2
12.8 ~ 13.1	13.7

发现只有 52.9% 的术眼术后拱高在理想范围内 (250 ~ 750μm),Reinstein 等<sup>[28]</sup>报告称 26% 的术眼术后拱高将会 <0.09mm。基于晶状体厂商推荐的 WTW/ACD 列线图进行的 ICL 尺寸选择,术后拱高不在理想范围内仍占一定比例,而早在 2000 年,Pop 等<sup>[29]</sup>就发现 WTW 与 STS 之间并没有显著的相关性,随后相关研究也发现二者关联性不显著<sup>[30]</sup>。眼前段是否有更理想更直观的指标用于 ICL 尺寸的选择?

**2.2 ICL 尺寸选择与 STS 的关系** 由于 ICL 植入后通过襟固定于睫状沟内,那么直接测量 STS 理论上就是 ICL 尺寸选择的关键。Choi 等<sup>[27]</sup>基于超声生物显微镜 (ultrasound biomicroscopy, UBM) 进行回顾性分析,研究发现依据 STS 选择的 ICL 尺寸,术后 6mo 拱高在理想范围 (250 ~ 750μm) 占比 84.6%,优于传统 WTW/ACD 法。Doughty 等<sup>[31]</sup>通过 UBM 测量 STS 的距离,以 STS 和 ICL 屈光度为变量进行了多元回归分析,开发了可视化 ICL 尺寸

选择列线图(表3),该研究中72眼术后均未出现拱高过高(>1000 $\mu\text{m}$ )或过低(<90 $\mu\text{m}$ )的情况。Kojima等<sup>[32]</sup>进一步优化,3个变量确定回归方程:最佳ICL尺寸(mm,在平衡盐溶液内)= $3.75+0.46\times(\text{STS})+0.95\times(\text{ACD})+1.25\times(\text{STSL})$ ,STSL指的是STS平面与晶状体前表面之间的距离,术后实际与预测拱高平均误差为 $-0.06\pm 0.29\text{mm}$ 。

虽然依据STS选择ICL尺寸术后拱高预测较好,但UBM的重复性并不高。Pop等<sup>[29]</sup>发现50MHzUBM的标准误差为0.4mm。Guber等<sup>[33]</sup>使用HiScanUBM(35MHz)随机获取两幅STS图像,同一检查者重复测量的内部标准差(Sr)为0.39mm,95%置信区间(CI)为 $\pm 0.76\text{mm}$ 。Reinstein等<sup>[34]</sup>报告STS在眼内的重复性为0.23mm,总体标准偏差为0.69mm。ICL有4种尺寸,其是以0.5mm递增或递减的,这些误差会影响ICL尺寸选择。UBM重复性差异除了受检查者熟练程度影响之外,还包括睫状肌的状态、睫状沟能否清晰暴露以及睫状沟是否存在先天异常等。已有研究中应用STS选择的ICL尺寸术后拱高到底如何?Packer<sup>[10]</sup>的一项Meta分析发现,用制造商推荐的WTW/ACD列线图(2263眼)与依据STS列线图(204眼)选择的ICL尺寸相比,二者术后拱高具有相似均值、标准差及测量范围,而且并无统计学差异。鉴于UBM设备的特性以及检查者熟练程度等原因,以UBM开发的列线图一直未在临床上广泛应用。但最近有研究就STS测量受操作人员主观因素及经验影响,通过UBM视频动态采集功能获得虹膜后睫状体动态视频,使用视频剪辑法获取最佳STS距离,并且在其研究中使用UBM测得的STS值进行ICL尺寸选择,术后3mo平均拱高 $528\pm 193\mu\text{m}$ <sup>[35]</sup>。

UBM是目前唯一能够清晰观察虹膜后结构的影像学检查,其术前对于评估睫状沟形态(宽窄)、睫状突形态(平坦或肥厚)、睫状体是否存在囊肿等,对ICL尺寸选择提供了重要的参考,同时在判断术后ICL襻的位置也发挥着巨大的作用。ICL在眼内的理想状态是位于睫状沟之内,但是研究发现ICL植入术后晶状体襻的位置大部分位于睫状沟之外,比如睫状体及睫状小带<sup>[36-37]</sup>,ICL脚襻处于不同位置术后拱高也不同,ICL脚襻位置是否与ICL尺寸相关?考虑到ICL脚襻大部分不在睫状体之内,STS测量值是否会反过来影响ICL尺寸的选择?临床及大部分研究多以水平位STS(3:00~9:00)作为ICL尺寸选择的参考,但是植入于眼内的ICL并不都位于水平轴位,已知垂直位STS大于水平位STS,所以水平位测量的STS对植入于不同轴位的ICL其参考准确性到底有多高?是否影响ICL尺寸的选择?这些对临床实践是否有意义?未来仍需要进一步探究。相信随着技术及研究的不断深入,UBM在ICL尺寸的选择中也将不断提供新的思路。

**2.3 ICL尺寸选择与前房角直径的关系** 前房角直径(angle-to-angle, ATA)是指鼻侧到颞侧房角凹陷之间的距离。它是否可以代替STS?Reinstein等<sup>[34]</sup>基于UBM测量发现ATA与STS相关,且相关性优于WTW与STS,ATA比WTW更适合作为计算ICL尺寸。Nakamura等<sup>[38]</sup>通过前段光学相干断层扫描成像(AS-OCT)发现ATA与最佳ICL尺寸选择有强相关性( $r=0.677$ )。Igarashi等<sup>[39]</sup>使用AS-OCT获得ATA,在传统算法的基础上综合选择ICL尺寸,并进行回归分析预测术后拱高,即KS公式:预测ICL

表3 Doughty列线图

睫状沟直径(mm)	预算ICL度数(D)	推荐ICL尺寸(mm)
<10.0	任意	不推荐
10.0~10.9	任意	12.1
11.0	-8.0~-16.0	12.1
11.0	-3.0~-7.5	12.6
11.1~12.2	任意	12.6
12.3	-8.0~-16	12.6
12.3	-3.0~-7.5	13.2
12.4~13.6	任意	13.2
>13.6	任意	不推荐

拱高( $\mu\text{m}$ )= $660.9\times[\text{ICL尺寸(mm)}-\text{ATA(mm)}]+86.6$ ,术后3mo平均拱高为 $491.6\pm 189.5(117\sim 995)\mu\text{m}$ ,该公式安装于CASIA2(TOMEY公司)设备上。对于以ATA代替WTW进行的ICL尺寸选择,研究发现和制造商推荐的尺寸相比,二者符合率占62.5%,两者选择不同的尺寸占比达37.5%,随访术后3mo拱高发现以FDA推荐尺寸获得的拱高平均为 $477.1\pm 263.7\mu\text{m}$ ,KS预测的拱高为 $606.4\pm 212.2\mu\text{m}$ ,实际获得的拱高明显小于KS预测值<sup>[40]</sup>。为了达到更精准的预测范围,Igarashi等<sup>[41]</sup>又针对不同尺寸的ICL,对预测拱高进行改进。修正KS:12.1mm的晶状体拱高预测公式为“ $\text{KS}\times 0.8$ ”;13.2和13.7mm预测拱高为“ $\text{KS}\times 1.3$ ”;12.6mm的晶状体,在原来基础上不变。对于修正后的KS公式,其拱高预测性尚需要更多研究对比分析。值得注意的是,不同的仪器在测量ATA时,结果不同。Saito等<sup>[42]</sup>对比CASIA2、Pentacam HR、TMS-5三种设备所得的ATA值,发现Pentacam和TMS-5分别比CASIA2小0.40和0.56mm,而且CASIA2有更高的重复性和再现性,其不建议以Pentacam和TMS-5测量值进行拱高预测。除了以上三种设备,Zhang等<sup>[43]</sup>分析了Visante AS-OCT和Casia SS-1000 OCT之间的一致性及重复性,发现二者有较好的重复性,在测量ATA时可互换。精确的ATA测量值是选择合适ICL尺寸的关键之一,在Ando等<sup>[40]</sup>的研究中,基于WTW/ACD列线图和ATA法选择ICL尺寸,二者有37.5%的差异。有研究发现,随着近视的发展,眼轴增加,前房呈垂直椭圆形,和呈水平椭圆的WTW相比,ATA和STS都近似垂直椭圆形,所以仅以WTW推测前房及睫状沟是欠妥的<sup>[44]</sup>。这些提示我们在ICL尺寸的选择中,除了参考眼外测量指标WTW,眼内值ATA也不可忽略,尤其对于临界值ICL尺寸的选择,需要综合考量,以获得术后最佳拱高。

**2.4 ICL尺寸选择与虹膜色素端到虹膜色素端距离的关系**

虹膜色素端到虹膜色素端距离(the iris pigment end to the iris pigment end, PTP)指的是虹膜色素层外端之间的距离。Piñero等<sup>[45]</sup>利用眼前节相干断层扫描(Visante OCT)测量PTP,线性分析后发现STS与PTP之间的相关性( $r=0.69$ )高于STS与ATA( $r=0.63$ ),研究进一步通过PTP预测STS,线性模型 $\text{STS}=1.08\times\text{PTP}-1.25$ , $R^2=0.48$ 。以ATA预测STS,线性模型 $\text{STS}=0.96\times\text{ATA}-0.25$ , $R^2=0.39$ 。PTP相较于ATA对STS预测更高,而且OCT测量PTP有很高的重复性(ICC:0.9947)。Malyugin等<sup>[46]</sup>改进了测量方法,先将AS-OCT所测眼前段图像颜色进行转变

后再测量,该研究发现相较于 UBM 测量的 STS 值,PTP 重复性更高,变异性更低,且 PTP 与 STS 二者之间有良好的相关性。该研究基于 PTP 值进行 ICL 尺寸计算,随访 1a 后平均拱高为  $0.53 \pm 0.18 (0.24 \sim 0.84)$  mm。值得关注的是该研究仅纳入 29 眼,针对 PTP 测量值进行简单尺寸选择,除了样本量小之外,其检查后首先需要转换图像,然后进行测量,而且在测量时存在主观判断,未能在临床上大规模应用。

**2.5 ICL 尺寸选择与晶状体矢高的关系** Bařkoff<sup>[47]</sup> 最早在 2006 年将晶状体矢高 (crystalline lens rise, CLR) 定义为晶状体前极顶点与水平虹膜和角膜夹角连线的垂直距离。Nakamura 等<sup>[38]</sup> 在其研究中将 CLR 等同于晶状体前极顶点与 ATA 之间的距离,并基于扫描源 AS-OCT (CASIA2),对 ICL 尺寸及术后拱高进行了多元回归分析,得出最佳 ICL 尺寸 (mm, 在平衡盐溶液中) =  $4.20 + 0.719 \times (ACW) (mm) + 0.655 \times (CLR) (mm)$ , 预测拱高 (mm) =  $0.5 + 1.1 \times (植入 ICL 尺寸 - NK 公式计算所得最佳 ICL 尺寸)$ , 其中 ACW 指的是鼻侧和颞侧巩膜突之间的距离,以 NK 公式预测的拱高平均绝对误差为  $0.190 \pm 0.129$  mm, 显著低于 STAAR 列线图 ( $0.331 \pm 0.235$  mm), 多元回归模型的决定系数调整后为 0.666, 80% 的患者术后实现了中等范围的预测拱高。以 NK 公式进行的尺寸选择, Ando 等<sup>[40]</sup> 通过和制造商推荐的尺寸对比, 二者相符率占 57.5%, 随访术后 3mo 拱高, 以 NK 公式预测的拱高为  $551.2 \pm 335.1 \mu\text{m}$ , 以 FDA 推荐尺寸获得的拱高为  $477.1 \pm 263.7 \mu\text{m}$ , 实际获得的拱高明显小于 NK 预测值, 当选择尺寸更大的 ICL 时, 拱高差异更大。随后, Nakamura 等<sup>[48]</sup> 在先前研究的基础上进一步优化, 优化后最佳 ICL 尺寸 (mm, 在平衡盐溶液内) =  $4.575 + 0.688 \times (ACW) (mm) + 0.388 \times (CLR) (mm)$ , 多元回归模型  $R^2$  调整后为 0.60。预测术后拱高平均绝对误差为  $0.169 \pm 0.118$  mm, 术后 3mo 复测拱高, 95.6% 的患者拱高在理想范围内 ( $250 \sim 1000 \mu\text{m}$ )。优化后的 NK 公式还需要在临床大样本数据中验证其有效性。Moshirfar 等<sup>[49]</sup> 在其研究中使用 Parkhurst 列线图 (表 4), 该列线图以 UBM 测量的 STS 及 CLR 进行 ICL 尺寸选择。在该研究中, 使用 Parkhurst 列线图选择的 ICL 最接近理想尺寸, 术后 3mo 平均拱高  $460 \pm 201 \mu\text{m}$ 。该学者的另外一项研究也使用了 Parkhurst 列线图, 术后 12mo 随访拱高为  $472 \pm 205 (112 \sim 850) \mu\text{m}$ <sup>[50]</sup>, 这是第一个依据 CLR 可视化选择 ICL 尺寸的列线图, 对于不同 CLR 的患者来说, 有必要综合考虑增大或减少一个尺寸, 以获得更理想的术后拱高。需要引起重视的是, 对于 CLR 的测量, 不同的光照条件, 测量值不同。研究发现从暗室到明室, CLR 平均变化范围可达  $59 \pm 60 (-123 \sim 248) \mu\text{m}$ <sup>[51]</sup>, 准确获取 CLR 是 ICL 尺寸及预测拱高的关键, 相关研究者在测量时应重视光照的影响。

**2.6 ICL 尺寸选择与人工智能的关系** 虽然上述 ICL 尺寸选择公式不断更新, 术后拱高的预测也越来越精确, 但以往研究最大的缺陷在于样本量不足, 随着大数据及人工智能的迅速发展, 研究人员利用相关技术展开研究。Shen 等<sup>[52]</sup> 通过人工智能回顾性分析了 6297 眼, 研究发现 Random Forest 预测 ICL 大小的准确率达 82.2%, Gradient Boosting 和 XGBoost 也有 81.5% 和 81.8% 的准确率。这为人工智能在 ICL 尺寸选择及拱高预测上提供了新方向。

表 4 Parkhurst 列线图

晶状体矢高	睫状沟直径 (mm)	推荐 ICL 尺寸 (mm)
正常范围内 (650~900 $\mu\text{m}$ )	<10.8	12.1
	10.8~11.7	12.6
	11.8~12.9	13.2
>900 $\mu\text{m}$	$\geq 13.0$	13.7
	<10.6	12.1
	10.6~11.5	12.6
<650 $\mu\text{m}$	11.6~12.7	13.2
	$\geq 12.8$	13.7
	<11.0	12.1
	11.0~11.9	12.6
	12.0~13.1	13.2
	$\geq 13.2$	13.7

Kang 等<sup>[53]</sup> 基于集合机器学习方法, 通过 XGBoost 和 light GBM 集合模型结果进行了大量数值拟合, 在韩国患者 2756 眼进行内部数据验证学习, 于日本患者 693 眼进行外部验证, 开发了在线 ICL 计算工具 (<http://loocus-iolcalc.ai>)。该在线计算公式同时纳入了 WTW、ACD、STS、ATA、ACW、前房角度数 (anterior chamber angle, ACA)、CLR 等眼前段测量指标, 综合进行 ICL 尺寸的选择。由于设备不同, 测量同一指标数值不同, 该在线计算方式还提供了设备的选择, 并且比较了既往 ICL 尺寸选择及拱高预测公式, 结果显示 XGBoost 和 light GBM 集合模型相较于其他机器学习技术、NK 公式及传统公式, 术后拱高有更好的平均绝对误差。人工智能的发展及应用为 ICL 尺寸及拱高预测带来新的机遇: (1) 弥补了既往样本量少的问题, 基于大数据进行的预测术后拱高更精准; (2) 纳入指标更全面, 通过大量验证学习, 可以更好地发现相关指标与尺寸及拱高之间的关系。

### 3 总结与展望

目前在临床上 ICL 尺寸选择公式中应用最广泛的仍是 STAAR 公司推荐的公式, 在其基础上综合判断选择。对于新研发的 ICL 尺寸及相应术后拱高预测公式来说, 一方面由于不同医院眼前节仪器配备不同, 而且同一指标不同类别的设备测量结果也存在差异, 如果应用新研发的尺寸计算公式, 为确保术后拱高预测准确性就需要配备相应的设备, 这在临床实际应用中尚存在一定的难度。另一方面, 新研发的 ICL 尺寸选择及术后拱高预测公式还需要在临床大样本数据中验证其有效性和可操作性, 而且不同尺寸公式并不能简单进行比较, 新的设备如高频 UBM、前节 OCT 等, 以其开发的 ICL 尺寸选择公式, 纳入了众多的测量指标如 STS、ATA、PTP、CLR、ACW 等, 受到临床医师的关注, 为临床工作者选择合适的 ICL 尺寸提供重要的参考作用, 特别是临界值的 ICL 尺寸和特殊病例, 参照的眼前节测量指标越多, 对于个体化尺寸的选择价值就越高。

ICL 尺寸影响术后拱高, 同时影响拱高的因素也会反过来影响 ICL 尺寸选择, 还有一些与拱高相关的眼前节测量指标比如晶状体厚度 (lens thickness, LT)、前房容积 (anterior chamber volume, ACV)、前房面积 (anterior chamber area, ACA)、后房角等也正逐步纳入到选择 ICL 尺寸的范畴中, 对未来 ICL 尺寸选择提供更全面的参考。

值得注意的是,植入合适的 ICL 尺寸在于获得适当的拱高,为了 ICL 能稳固于睫状沟内,从而减少因术后拱高不当或晶状体发生旋转引起的并发症。然而拱高除了受到植入 ICL 尺寸大小的影响,还有其它因素,如 ICL 脚襻的位置<sup>[54]</sup>、睫状体的形态<sup>[55]</sup>以及局部结构如虹膜形状(前凸或后凹)<sup>[56]</sup>、瞳孔动力学<sup>[57]</sup>、晶状体厚度<sup>[58]</sup>、测量的设备种类<sup>[59-60]</sup>、光照强度等,有研究发现从暗室到明室,中央拱高的变化平均值可达到  $167 \pm 70$  ( $48 \sim 366$ )  $\mu\text{m}$ <sup>[61]</sup>。对于这些影响因素,学术界尚无统一规定,比如是否应该设定在什么样的光照强度条件下,用何种设备测量,而且当患者虹膜形状、自身晶状体厚度不同又或是睫状体发育不同时,是否应该分组分别讨论其所测拱高值,从而使相关研究更具有对比性?

除了影响拱高的因素较多之外,对于拱高不足和过度的精确定义也仍然难以明确。因为并不是所有患者术后拱高不适都会引起并发症,Córdoba 等<sup>[62]</sup>报告了 1 例低拱高的患者,第一次手术后因拱高偏低 ( $80 \sim 100 \mu\text{m}$ ) 预防性的进行了 ICL 尺寸的置换,较大尺寸的 ICL 置换后拱高仍不理想 ( $80 \sim 120 \mu\text{m}$ ),随后进行了长达 6a 的随访,未发现拱高偏低导致的并发症。Gonvers 等<sup>[63]</sup>随访了术后平均 21.8mo 的患者,在拱高小于  $90 \mu\text{m}$  的 46 眼中,未出现并发症的术眼占 56.5%,Maeng 等<sup>[64]</sup>在拱高  $< 250 \mu\text{m}$  的 26 眼中随访 4a 发现正常的术眼占比 69.2%。朱爱斌等<sup>[65]</sup>随访了拱高  $> 1000 \mu\text{m}$  的 42 例患者,随访 1a 并未发现相关的并发症。

既往研究曾依据并发症发生概率给出过安全拱高, Maeng 等<sup>[64]</sup>认为最低拱高应大于  $52 \mu\text{m}$ , Doughty 等<sup>[31]</sup>认为拱高安全范围应在  $90 \sim 1000 \mu\text{m}$ , Gonvers 等<sup>[63]</sup>建议安全拱高应大于  $150 \mu\text{m}$ 。术后拱高会随着时间下降且伴随着年龄增长自身晶状体厚度也在增加,所以拱高必须预留一定的距离,Choi 等<sup>[27]</sup>将理想拱高范围定义  $250 \sim 750 \mu\text{m}$ , Nakamura 等<sup>[38]</sup>在其研究中选择  $250 \sim 1000 \mu\text{m}$  作为理想拱高。因为安全拱高的设定存在一定差异,所以在新开发的 ICL 尺寸及拱高预测的研究中,哪些公式预测价值更高仍需要进一步对比研究。随着中央孔型 ICL 的发明,术后并发症的发生率进一步下降,未来研究需要综合考虑拱高的动态变化、影响因素及其所致并发症的概率,进一步探讨、完善并规范其测量标准及拱高安全范围。

ICL 植入术作为屈光不正的主要矫正方法之一,得益于其良好的安全性、稳定性、可逆性等优势,受众群体日益增加。但是此手术是在患者自身晶状体透明的情况下进行,所以即便目前并发症发生概率越来越小,也需要研究者高度重视,对于 ICL 尺寸的选择及术后拱高预测仍需要不断改进、完善。随着人工智能、大数据的发展、完善与共享,跨国跨人种及多中心的研究成为新趋势,有望持续全面地为 ICL 尺寸的选择及术后拱高提供更多实用的价值。

#### 参考文献

- 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
- Ding BY, Shih YF, Lin LLK, et al. Myopia among schoolchildren in east Asia and Singapore. *Surv Ophthalmol* 2017;62(5):677-697
- Kamiya K, Shimizu K, Igarashi A, et al. Posterior chamber phakic intraocular lens implantation: comparative, multicentre study in 351 eyes

with low-to-moderate or high myopia. *Br J Ophthalmol* 2018;102(2):177-181

- Kamiya K, Takahashi M, Takahashi N, et al. Monovision by implantation of posterior chamber phakic intraocular lens with a central hole (hole ICL) for early presbyopia. *Sci Rep* 2017;7(1):11302
- 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
- Papa-Vettorazzi MR, Güell JL, Cruz-Rodríguez JB, 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 Cataract Refract Surg* 2022;48(7):813-818
- 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
- Du GP, Guo HL, Jiang JJ, et al. Clinical efficacy of Toric ICL implantation and its effect on corneal astigmatism and aberration. *Guoji Yanke Zazhi(Int Eye Sci)* 2021;21(10):1675-1679
- Fernandes P, González - Méijome 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
- Packer M. Meta-analysis and review: effectiveness, safety, and central port design of the intraocular collamer lens. *Clin Ophthalmol* 2016;10:1059-1077
- Packer M. The Implantable Collamer Lens with a central port: review of the literature. *Clin Ophthalmol* 2018;12:2427-2438
- Kojima T, Kitazawa Y, Nakamura T, et al. Prospective randomized multicenter comparison of the clinical outcomes of V4c and V5 implantable collamer lenses; a contralateral eye study. *J Ophthalmol* 2018;2018:7623829
- Ganesh S, Brar S, Pawar A. Matched population comparison of visual outcomes and patient satisfaction between 3 modalities for the correction of low to moderate myopic astigmatism. *Clin Ophthalmol* 2017;11:1253-1263
- Pjano M, Pidro A, Biscevic A, et al. Refractive outcomes of posterior chamber phakic intraocular lens implantation for correction of myopic and myopic astigmatism. *Med Arch* 2017;71(2):93
- AlSabaani NA, Behrens A, Jastanieh S, et al. Causes of phakic implantable collamer lens explantation/exchange at king khaled eye specialist hospital. *Middle East Afr J Ophthalmol* 2016;23(4):293-295
- Visian ICL (Implantable Collamer Lens) For Myopia. Visian ICL Product Information. 2005 [Internet]. [https://www.accessdata.fda.gov/cdrh\\_docs/pdf3/P030016S035C.pdf](https://www.accessdata.fda.gov/cdrh_docs/pdf3/P030016S035C.pdf)
- Pesando PM, Ghiringhello MP, Tagliavacche P. Posterior chamber collamer phakic intraocular lens for myopia and hyperopia. *J Refract Surg* 1999;15(4):415-423
- Trindade F, Pereira F. Exchange of a posterior chamber phakic intraocular lens in a highly myopic eye. *J Cataract Refract Surg* 2000;26(5):773-776
- Sung Y, Chung S, Nam SM. Novel technique to measure horizontal cornealdiameter using a Scheimpflug image on the Pentacam. *Contact Lens Anterior Eye* 2016;39(3):234-238
- Cruz S, Valenzuela F, Stoppel J, et al. Comparison of horizontal corneal diameter measurements using orbscan IIz, OPD scan III, and IOLMaster 700. *Eye Contact Lens* 2021;47(10):533-538
- Shajari M, Lehmann UC, Kohnen T. Comparison of corneal diameter and anterior chamber depth measurements using 4 different devices. *Cornea* 2016;35(6):838-842
- Gharieb HM, Othman IS, Elkitkat RS. Orbscan 3 versus pentacam

HR: evaluating the possible interchangeable use of various parameters. *Cornea* 2020;39(5):649-653

23 Salouti R, Nowroozadeh MH, Zamani M, *et al.* Comparison of Horizontal corneal diameter measurements using the Orbscan II<sub>x</sub> and Pentacam HR systems. *Cornea* 2013;32(11):1460-1464

24 Buckenham Boyle A, Namkung S, Shew W, *et al.* Repeatability and agreement of white-to-white measurements between slit-scanning tomography, infrared biometry, dual rotating Scheimpflug camera/Placido disc tomography, and swept source anterior segment optical coherence tomography. *PLoS One* 2021;16(7):e0254832

25 Nonpassopon M, Jongkhajornpong P, Phimpho P, *et al.* Agreement of implantable collamer lens sizes using parameters from different devices. *BMJ Open Ophthalmol* 2022;7(1):e000941

26 Ghoreish M. Correlation between preoperative sizing of implantable collamer lens (ICL) by white-to-white and sulcus-to-sulcus techniques, and postoperative vault size measured by sheimpflug imaging. *J Clin Exp Ophthalmol* 2014;5(4):1-6

27 Choi KH, Chung SE, Chung TY, *et al.* Ultrasound biomicroscopy for determining visian implantable contact lens length in phakic IOL implantation. *J Refract Surg* 2007;23(4):362-367

28 Reinstein DZ, Lovisolo CF, Archer TJ, *et al.* Comparison of postoperative vault height predictability using white-to-white or sulcus diameter-based sizing for the visian implantable collamer lens. *J Refract Surg* 2013;29(1):30-35

29 Pop M, Payette Y, Mansour M. Predicting sulcus size using ocular measurements. *J Cataract Refract Surg* 2001;27(7):1033-1038

30 Kim KH, Shin HH, Kim HM, *et al.* Correlation between ciliary sulcus diameter measured by 35 MHz ultrasound biomicroscopy and other ocular measurements. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(4):632-637

31 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

32 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

33 Guber I, Bergin C, Perritaz S, *et al.* Correcting interdevice bias of horizontal white-to-white and sulcus-to-sulcus measures used for implantable collamer lens sizing. *Am J Ophthalmol* 2016;161:116-125

34 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

35 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

36 Tan WN, Chen Q, Yang RB, *et al.* Characteristics and factors associated with the position of the haptic after ICL V4C implantation. *J Cataract Refract Surg* 2023;49(4):416-422

37 Reinstein D, Vida R, Archer T. Visual outcomes, footplate position and vault achieved with the visian implantable collamer lens for myopic astigmatism. *Clin Ophthalmol* 2021;15:4485-4497

38 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

39 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

40 Ando W, Kamiya K, Hayakawa H, *et al.* Comparison of phakic

intraocular lens vault using conventional nomogram and prediction formulas. *J Clin Med* 2020;9(12):4090

41 Igarashi A, Shimizu K, Kato S. Assessment of the vault after implantable collamer lens implantation using the KS formula. *J Refract Surg* 2021;37(9):636-641

42 Saito A, Kamiya K, Fujimura F, *et al.* Comparison of angle-to-angle distance using three devices in normal eyes. *Eye (Lond)* 2020;34(6):1116-1120

43 Zhang XF, Li M, Shi Y, *et al.* Repeatability and agreement of two anterior segment OCT in myopic patients before implantable collamer lenses implantation. *Int J Ophthalmol* 2020;13(4):625-631

44 Yun JS, Min JS, Kim KY. Evaluation of angle-to-angle and spur-to-spur using swept source optical coherence tomography in different refractive error. *PLoS One* 2022;17(11):e0277703

45 Piñero DP, Puche ABP, Alió JL. Ciliary sulcus diameter and two anterior chamber parameters measured by optical coherence tomography and VHF ultrasound. *J Refract Surg* 2009;25(11):1017-1025

46 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

47 Baikoff G. Anterior segment OCT and phakic intraocular lenses: a perspective. *J Cataract Refract Surg* 2006;32(11):1827-1835

48 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

49 Moshirfar M, Placide J, Neves da Silva HV, *et al.* Assessing the efficacy of four diagnostic devices and four nomograms in posterior chamber phakic intraocular lens size selection. *J Refract Surg* 2022;38(2):106-111

50 Moshirfar M, Bundogji N, Tukan AN, *et al.* Toric implantable collamer lens for the treatment of myopic astigmatism. *Clin Ophthalmol* 2021;15:2893-2906

51 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

52 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

53 Kang EM, Ryu IH, Lee G, *et al.* Development of a web-based ensemble machine learning application to select the optimal size of posterior chamber phakic intraocular lens. *Trans Vis Sci Tech* 2021;10(6):5

54 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

55 Chen Q, Tan W, Lei X, *et al.* Clinical Prediction of Excessive Vault After Implantable Collamer Lens Implantation Using Ciliary Body Morphology. *J Refract Surg* 2020;36(6):380-387

56 Yang Z, Meng L, Zhao X, *et al.* Clinical Prediction of Inadequate Vault in Eyes With Thick Lens After Implantable Collamer Lens Implantation Using Iris Morphology. *Front Med (Lausanne)* 2022;9:906433

57 Gonzalez-Lopez F, Bouza-Miguens C, Tejerina V, *et al.* Dynamic assessment of variations in pupil diameter using swept-source anterior segment optical coherence tomography after phakic collamer lens implantation. *Eye Vis (Lond)* 2021;8(1):39

58 Zeng QY, Xie XL, Chen Q. Prevention and management of collagen copolymer phakic intraocular lens exchange: causes and surgical

techniques. *J Cataract Refract Surg* 2015;41(3):576-584  
59 Wan T, Yin HF, Yang Y, et al. Comparative study of anterior segment measurements using 3 different instruments in myopic patients after ICL implantation. *BMC Ophthalmol* 2019;19(1):182  
60 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. *中华实验眼科杂志* 2019;37(4):287-291  
61 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

62 Córdoba A, Graue-Hernández EO, Gómez-Bastar A, et al. Long-term follow-up of persistent low vault after implantable collamer lens exchange. *J Cataract Refract Surg* 2019;45(4):519-522  
63 Convers M, Bornet C, Othenin-Girard P. Implantable contact lens for moderate to high myopia: relationship of vaulting to cataract formation. *J Cataract Refract Surg* 2003;29(5):918-924  
64 Maeng HS, Chung TY, Lee DH, et al. Risk factor evaluation for cataract development in patients with low vaulting after phakic intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 2011;37(5):881-885  
65 朱爱斌, 刘磊, 尚云月, 等. ICL 植入术后拱高大于 1000 $\mu\text{m}$  的中高度近视患者疗效观察. *国际眼科杂志* 2023;23(2) 345-348

## 2022《中国科技期刊引证报告》核心版眼科期刊主要指标及排名 (以综合评价总分为序)

期刊名称	核心总被引频次		核心影响因子		综合评价总分	
	数值	排名	数值	排名	数值	排名
中华眼科杂志	2082	2	1.855	1	77.22	1
眼科新进展	1257	3	0.842	3	56.16	2
<b>国际眼科杂志</b>	<b>2100</b>	<b>1</b>	<b>0.721</b>	<b>5</b>	<b>54.31</b>	<b>3</b>
中华实验眼科杂志	1076	4	0.861	2	41.19	4
中华眼底病杂志	762	6	0.581	6	34.36	5
中华眼科医学杂志(电子版)	151	10	0.512	7	34.01	6
临床眼科杂志	326	8	0.377	9	33.71	7
中华眼视光学与视觉科学杂志	805	5	0.752	4	22.35	8
眼科	356	7	0.336	10	19.61	9
中国斜视与小兒眼科杂志	237	9	0.414	8	15.76	10

摘编自 2022 版《中国科技期刊引证报告》核心版

## 2022《中国科技期刊引证报告》扩展版眼科期刊主要指标及排名 (以总被引频次为序)

期刊名称	总被引频次	影响因子	即年指标	他引率	引用刊数	开放因子
<b>国际眼科杂志</b>	<b>5011</b>	<b>1.805</b>	<b>0.329</b>	<b>0.9</b>	<b>584</b>	<b>44.2</b>
中华眼科杂志	3496	2.299	0.568	0.92	504	23
眼科新进展	2436	1.696	0.188	0.94	434	38.1
中华实验眼科杂志	1843	1.482	0.214	0.87	382	23
中华眼底病杂志	1405	1.266	0.162	0.91	286	25.7
中华眼视光学与视觉科学杂志	1372	1.373	0.176	0.82	278	15
临床眼科杂志	950	1.019	0.077	0.98	274	41.2
眼科	701	0.683	0.126	0.92	233	26.7
中国斜视与小兒眼科杂志	508	0.993	0.046	0.94	165	25.8
中华眼科医学杂志(电子版)	295	0.984	0.045	0.91	142	26.3

摘编自 2022 版《中国科技期刊引证报告》扩展版