

ICL 植入术后拱高与其相关因素的关联 meta 分析

王静 沙玛丽·哈力木别克 陈利群 王富江 易湘龙

新疆医科大学第一附属医院眼科, 乌鲁木齐 830054

通信作者: 易湘龙, Email: yixianglong1010@126.com

【摘要】 目的 分析有晶状体眼后房型人工晶状体 (ICL) 植入术后拱高与其相关因素的关联。**方法** 通过 PubMed、Cochrane Library、Web of Science、Clinical Trials、中国知网、维普网、万方数据、中国生物医学文献和中国临床试验注册中心数据库, 检索采用相关系数法研究 V4c 型 ICL 植入术后拱高相关因素的文献, 时限为 2011 年 1 月至 2022 年 8 月。根据 Cochrane 系统指南的要求, 采用 Stata 16.0 软件进行 meta 分析。**结果** 共 21 篇文献 1 245 例患者 1 978 眼纳入研究, meta 分析结果显示, ICL 直径、前房深度 (ACD)、角膜水平直径、眼轴长度、瞳孔直径、前房容积均与拱高呈正相关 ($r=0.42, 0.40, 0.29, 0.20, 0.31, 0.31$, 均 $P<0.05$), 年龄、术后房角到房角的距离、中央角膜厚度、晶状体厚度、晶状体矢高 (CLR) 均与拱高呈负相关 ($r=-0.20, -0.35, -0.12, -0.34, -0.56$, 均 $P<0.05$)。经亚组分析发现 Pentacam 测量的拱高 ($490.20\ \mu\text{m}$) 比光学相干断层扫描仪测量的拱高 ($589.30\ \mu\text{m}$) 小 $99.10\ \mu\text{m}$, 随访时间为手术 6 个月以后测量的拱高 ($513.90\ \mu\text{m}$) 比术后 1 个月内测量的拱高 ($527.40\ \mu\text{m}$) 减少了 $13.50\ \mu\text{m}$ 。**结论** ICL 直径、ACD 与拱高具有较强的正相关性; CLR 与拱高具有较强的负相关性。Pentacam 测量的拱高比光学相干断层扫描仪测量的拱高偏小, 拱高随着术后时间的延长呈逐渐下降趋势。

【关键词】 有晶状体眼后房型人工晶状体; 拱高; 相关因素; 相关系数; meta 分析

meta 分析注册: 国际注册前瞻性系统评价研究平台 (CRD42022365903)

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金重点项目 (2022D01D68)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20240121-00023

Association between vault and its related factors following posterior chamber phakic implantable collamer lens V4c implantation: a meta-analysis

Wang Jing, Shamali Halimubieke, Chen Liqun, Wang Fujiang, Yi Xianglong

Department of Ophthalmology, The First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830054, China

Corresponding author: Yi Xianglong, Email: yixianglong1010@126.com

[Abstract] Objective To systematically analyze the correlation between vault and its related factors following posterior chamber phakic implantable collamer lens (ICL) V4c implantation. **Methods** Literature on factors related to vault height following ICL V4c implantation published from January 2011 to August 2022 was searched through PubMed, Cochrane Library, Web of Science, Clinical Trials, China National Knowledge Network Infrastructure, VIP Network, Wanfang Data, China Biomedical Literature Database and China Clinical Trial Registry Database using the correlation coefficient method. This study complied with the Cochrane systematic review guidelines, and the study protocol was registered on the International Prospective Register of Systematic Reviews website. Stata 16.0 software was used to perform statistical analyses. **Results** Twenty-one studies with 1 245 patients (1 978 eyes) were included. Meta-analysis results showed ICL size, anterior chamber depth (ACD), horizontal corneal diameter, axial length, pupil diameter and anterior chamber volume were positively correlated with vault ($r=0.42, 0.40, 0.29, 0.20, 0.31, 0.31$; all $P<0.05$). Age, postoperative angle-to-angle distance, central corneal thickness, lens thickness and crystalline lens rise (CLR) were negatively correlated with vault height ($r=-0.20, -0.35, -0.12, -0.34, -0.56$; all $P<0.05$). Subgroup analysis revealed that the vault height measured by Pentacam was $490.20\ \mu\text{m}$, which was $99.10\ \mu\text{m}$ lower than $589.30\ \mu\text{m}$ measured by optical coherence tomography. The vault measured more than 6 months after surgery was $513.90\ \mu\text{m}$, which was $13.50\ \mu\text{m}$ lower than $527.40\ \mu\text{m}$ measured within 1 month postoperatively. **Conclusions** ICL size and ACD have a strong positive

correlation with vault height, while CLR has a strong negative correlation with vault height. The vault height measured by Pentacam is lower than that measured by optical coherence tomography, and the vault height exhibits a gradual decline over time.

[Key words] Implantable collamer lens; Vault; Related factors; Correlation coefficient; Meta-analysis

Meta-analysis registration: International Prospective Register of Systemic Reviews (CRD42022365903)

Fund program: Key Project of Natural Science Foundation of Xinjiang Uygur Autonomous Region (2022D01D68)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20240121-00023

随着近视患病率的不断升高,预计到 2050 年,全球将有 47.58 亿近视人群以及 9.38 亿高度近视人群^[1]。由于近视无法逆转,日益增多的患者选择屈光手术矫正视力。目前,屈光手术主要分为角膜屈光手术和眼内屈光手术 2 种类型。有晶状体眼后房型人工晶状体(implantable collamer lens, ICL)植入术作为一种眼内屈光手术,无需切削角膜组织,可保持眼生理结构的完整性,其安全性、有效性和稳定性已得到广泛证实^[2-3]。V4c 型 ICL 是目前临床中应用较多的晶状体,该型 ICL 设计上增加了 360 μm 的中央孔,其优势在于沟通房水在前房和后房的流动,从而不影响自身晶状体代谢、预防白内障发生,同时也预防瞳孔阻滞性青光眼的发生^[4]。

ICL 植入眼内后需长期随访,以确保手术的安全性和有效性。拱高是 ICL 后表面与自身晶状体前表面的垂直距离,是评估 ICL 植入术后安全性的重要指标之一。既往研究认为,拱高的理想范围为 250 ~ 750 μm (即中央角膜厚度的 0.5 ~ 1.5 倍)^[5]。拱高异常可能会引起前囊膜白内障、角膜内皮损伤、瞳孔阻滞、继发性青光眼、眩光等并发症^[6-10]。在术前检查过程中如何精确测定相关数据以确保获得最佳拱高、确定 ICL 尺寸的选择与拱高之间的相互作用关系,以及哪些因素会对拱高产生影响是 ICL 植入术研究的热点。

近年来,国内外研究者们发现了拱高的诸多可能影响因素,包括 ICL 尺寸、ICL 位置、角膜水平直径、前房深度、睫状沟直径、虹膜形态、晶状体矢高、晶状体厚度、瞳孔直径、年龄等^[11-15],但拱高与这些因素的相关性仍存在争议。对于相同的因素,不同研究的结论存在一定差异,且如何选择合适的 ICL 尺寸以获得理想拱高仍在探索中。本研究旨在系统分析 V4c 型 ICL 植入术后拱高与其相关影响因素的关联,为临床中选择合适的 ICL 尺寸及获得理想拱高提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 检索策略

检索 PubMed、Cochrane Library、Web of Science、Clinical Trials、中国知网、维普网、万方数据、中国生物医学文献和中国临床试验注册中心数据库,收集采用相关系数法研究 V4c 型 ICL 植入术后拱高与其相关因素关联性的文献,时限为 2011 年 1 月至 2022 年 8 月。检索词采用主题词与自由词相结合的方式,中文检索词为“有晶状体眼人工晶状体”或“有晶状体眼后房型人工晶状体”或“可植入式眼内镜”或“可植入式隐形眼镜”或“ICL”和“拱高”;英文检索词为"Phakic Intraocular Lenses" OR "Lenses, Intraocular" OR "ICL" OR "Implantable Collamer Lens" AND "Vault"。由 3 名研究者根据纳入和排除标准独立筛选文献,筛选过程中若有不同意见,经过协商解决。

1.2 文献纳入和排除标准

纳入标准:(1)接受 V4c 型 ICL 植入手术;(2)提供客观的描述性统计数据;(3)包括研究对象的一般资料;(4)提供描述拱高及其相关因素相关性的相关系数。排除标准:(1)统计方法未涉及相关分析;(2)无法获取全文、数据资料不全;(3)低质量和重复文献;(4)综述、meta 分析、病例报告、信件、论文和会议摘要。

1.3 文献筛选及偏倚风险评估

文献筛选分 2 个阶段进行,首先将检索到的文献导入 Endnote 软件中去重,然后根据文章标题和摘要初步筛选,再进行全文筛选,最后对纳入文献的参考文献进行手动检索,避免检索遗漏。根据研究类型采用不同的文献质量评估工具。随机对照试验采用 Cochrane 偏倚风险工具^[16]进行评估,从 5 个领域 6 个评价项目对研究进行评价,每个领域的偏倚风险可分为低风险、有一定风险和高风险。队列研究和病例对照研究采用纽卡斯尔-渥太华质量评估量表^[17],使用 3 个组(选择、可比性和结果)8 个项目来判断文献质量。横断面研究采用美国卫生保健质量和研究机构^[18]的横断面研究质量评价量表,该量表包含 11 个项目。量表的最终表现由总分表示,0~3 分为低质量,4~7 分为中等质量,8~11 分为高质量。由 3 名研究者独立进行评价,如有分歧讨论解决。

1.4 数据提取

根据 MOOSE 声明条目提前设计好数据提取表格,由 3 名研究者从每项研究中独立提取数据并交叉检查,保证数据的准确性和有效性。提取内容主要包括第一作者、发表年份、国家、研究类型、样本量(例数/眼数)、研究对象年龄、随访时间、拱高、拱高的测量仪器、统计分析方法、拱高相关因素及相关系数。

1.5 统计学方法

对提取的结局指标先进行如下公式转换,再用 Stata 16.0 软件对数据进行 meta 分析。转换公式如下:① $r = 2 \times \sin[r_s \times (\pi/6)]$;② $Fisher\ Z = 0.5 \times \ln[(1+r)/(1-r)]$;③ $Vz = 1/(n-3)$;④标准误(standard error, SE) = $\sqrt{Vz}$;⑤ $Pooled\ r = (e^{2Z} - 1)/(e^{2Z} + 1)$ (Z 为 pooled Fisher Z 值)。首先把结局变量为 Spearman 相关系数(r_s)转换为 Pearson 相关系数(r),然后把相关系数 r 转换为 Fisher Z 值和 SE,将其输入 Stata 16.0 软件,利用倒方差法得出合并 Fisher Z 值和 95% 置信区间(confidence interval, CI),再利用公式⑤换算出合并相关系数 r 值(95% CI),最后用合并相关系数 r 综合评价相关因素和拱高之间的相关关系。采用 χ^2 检验分析研究间的异质性(检验水准为 0.05),以 P 值和 I^2 判断各研究间异质性:若 $P > 0.05$ 且 $I^2 \leq 50\%$ 表示纳入研究间异质性较小或不存在异质性,采用固定效应模型进行 meta 分析;反之则表示纳入研究间存在异质性,采用随机效应模型进行 meta 分析。对于异质性较大的研究,使用省略一项的方法进行敏感性分析来探讨异质性来源,有针对性地进行亚组分析。本研究通过固定效应模型和随机效应模型转换进行敏感性分析,评估 meta 分析结果的稳定性。使用漏斗图、Egger 检验和 Begg 检验对文献进行发表偏倚分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 文献选择

从数据库中共检索出 1 425 篇文章,剔除重复发表的文献 596 篇,经阅读标题和摘要排除 743 篇,有 86 篇文献需获取全文,阅读全文后排除 65 篇,最终筛选出符合纳入标准的文献 21 篇^[19-39](图 1)。

2.2 文献基本特征及偏倚风险评估

共纳入 21 篇文献,其中 7 篇文献^[19,21-22,25,29,33,38]采用 Spearman 相关分析,1 篇文献^[34]采用 Spearman 相关分析和 Pearson 相关分析,其余文献^[20,23-24,26-28,30-32,35-37,39]采用 Pearson 相关分析。纳入的研究共包括 1 245 例患者 1 978 眼,平均年龄 27.61

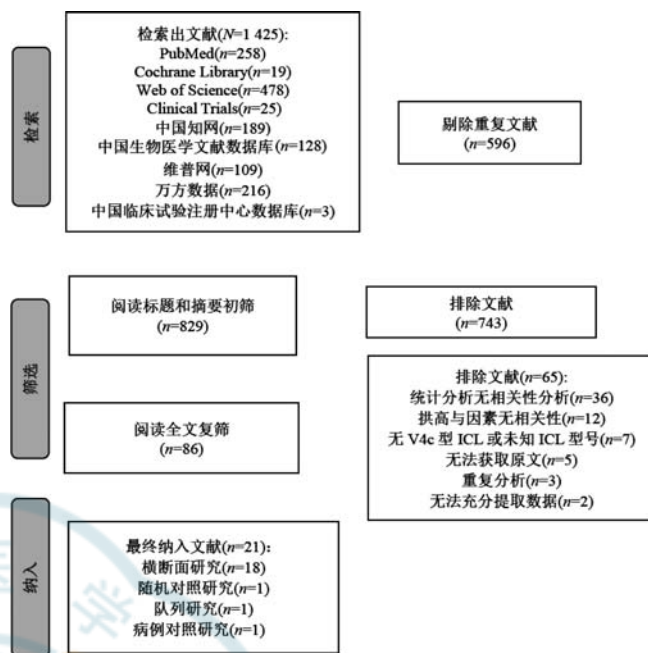


图 1 PRISMA 文献筛选流程图 ICL:有晶状体眼后房型人工晶状体

Figure 1 PRISMA flow chart for literature screening ICL: implantable collamer lens

岁(95% CI:26.52~28.69 岁),随访时间为 1 周~2 年,拱高的平均值为 529.84 μm (95% CI:502.73~556.94 μm),测量仪器主要是 Pentacam(德国 Oculus 公司)和光学相干断层扫描(optical coherence tomography,OCT)仪,其中 OCT 仪包括眼前节 OCT、HD-OCT 5000、Visante OCT、SD-OCT 多种类型。经过文献质量评价,14 篇文献^[19-26,28-29,31,33-34,36]为高质量文献,7 篇文献^[27,30,32,35,37-39]为中等质量文献。纳入文献的基本特征及质量评价见表 1。

2.3 拱高分析

以拱高为基准评估所有纳入文献的基本情况,检验一致性及可信度。拱高的合并效应量为 529.84 μm (95% CI:502.73~556.94 μm , $P < 0.01$) (图 2),各文献间的异质性较高($I^2 = 92.80\%$, $P < 0.01$),采用随机效应模型进行 meta 分析(表 2)。根据测量仪器和随访时间的不同将研究分为 2 个亚组进行分析以探索异质性来源,结果显示测量设备和随访时间的不同并不是高异质性的来源,但合并效应量具有统计学意义($P < 0.01$)。在测量仪器组,Pentacam 测量的拱高(490.20 μm)比 OCT 测量的拱高(589.30 μm)小 99.10 μm ;在随访时间组,随访时间为 3 个月的拱高(557.28 μm)比术后 1 个月内测的拱高(527.40 μm)增长了 29.88 μm ,手术 6 个月以后测的拱高(513.90 μm)较术后 3 个月时减少了 43.38 μm ,较术

表 1 纳入研究的基本特征和质量评价
Table 1 Basic characteristics and quality assessment of included studies

作者	年份	国家	例数/ 眼数	随访时间	年龄 ($\bar{x}\pm s$, 岁)	研究类型	拱高 [#] ($\bar{x}\pm s$, μm)	测量仪器 (厂家)	相关因素	结局指标	质量评价
Chen 等 ^[19]	2016	中国	39/39	1 个月	28.69 $\pm$ 6.44	横断面研究	510.77 $\pm$ 175.51	Pentacam(德国 Oculus 公司)	ACD、WTW、PD、 hSTS、vSTS	Spearman 相关系数	高质量
Zhao 等 ^[20]	2021	中国	34/34	(7.68 $\pm$ 1.63) 个月	27.14 $\pm$ 5.11	病例对照研究	449.70 $\pm$ 172.47	Pentacam(德国 Oculus 公司)	ACD、SE、年龄、 PD、CLR、Kf、Ks	Pearson 相关系数	高质量
Zhu 等 ^[21]	2021	中国	83/83	1 个月	27.21 $\pm$ 5.07	横断面研究	530.12 $\pm$ 30.22	Pentacam(德国 Oculus 公司)	ACD、ICL 直径、WTW、SE、年龄、 AL、PD、hSTS、vSTS、CCT、CLT、 Km、Kf、Ks	Spearman 相关系数	高质量
Yan 等 ^[22]	2018	中国	32/61	2 年	30.87 $\pm$ 8.03	横断面研究	449 $\pm$ 167	Pentacam(德国 Oculus 公司)	ACD、post-ACA	Spearman 相关系数	高质量
Eissa 等 ^[23]	2016	埃及	27/54	1 个月	29.00 $\pm$ 2.30	横断面研究	593 $\pm$ 135	Pentacam(德国 Oculus 公司)	post-ACA	Pearson 相关系数	高质量
Higuera- Esteban 等 ^[24]	2013	西班牙	10/18	3 个月	34.50 $\pm$ 9.50	队列研究	528 $\pm$ 268	Spectralis SD-OCT (德国 Heidelberg 公司)	年龄	Pearson 相关系数	高质量
Kato 等 ^[25]	2019	日本	47/91	1 个月	35.50 $\pm$ 8.60	横断面研究	521.1 $\pm$ 220.4	眼前节 OCT(日本 TOMEY 公司)	PD	Spearman 相关系数	高质量
Gargallo- Martinez 等 ^[26]	2020	西班牙	39/39	6 个月	35.67 $\pm$ 8.90	随机对照试验	534.6 $\pm$ 339.6	眼前节 OCT(日本 TOMEY 公司)	ACD	Pearson 相关系数	高质量
庄棕茗等 ^[27]	2021	中国	41/82	1 个月	27.80 $\pm$ 5.90	横断面研究	404.04 $\pm$ 185.83	Pentacam(德国 Oculus 公司)	ACD	Pearson 相关系数	中等质量
曹伟芳等 ^[28]	2021	中国	60/118	6 个月	26.00 $\pm$ 5.20	横断面研究	581 $\pm$ 195	Visante OCT(德国 Carl Zeiss 公司)	ACD、ICL 直径、WTW、 年龄、AL、CCT	Pearson 相关系数	高质量
邹泉等 ^[29]	2022	中国	32/63	1 个月	26.59 $\pm$ 5.73	横断面研究	555.08 $\pm$ 171.65	Pentacam(德国 Oculus 公司)	ACD、ICL 直径、WTW、SE、post-ACA、 hSTS、vSTS、CCT、CLT、ACV	Spearman 相关系数	高质量
熊瑛等 ^[30]	2022	中国	138/276	1 周	28.40 $\pm$ 7.40	横断面研究	645 $\pm$ 247	眼前节 OCT(日本 TOMEY 公司)	ACD、ICL 直径、WTW、SE、 年龄、AL、post-ACA、CCT、 CLT、ACV、Kf、Ks	Pearson 相关系数	中等质量
万博等 ^[31]	2020	中国	72/140	3 个月	27.50 $\pm$ 7.30	横断面研究	630 $\pm$ 190	眼前节 OCT(日本 TOMEY 公司)	ACD、ICL 直径、WTW、年龄、 AL、post-ACA、PD、CLR、Km	Pearson 相关系数	高质量
王静等 ^[32]	2021	中国	40/80	1 年	24.40 $\pm$ 5.76	横断面研究	487.7 $\pm$ 179.2	Pentacam(德国 Oculus 公司)	ACD、CLR	Pearson 相关系数	中等质量
朱秋健等 ^[33]	2021	中国	81/81	3 个月	23.20 $\pm$ 4.76	横断面研究	548.67 $\pm$ 315.63	Pentacam(德国 Oculus 公司)	ACD、ICL 直径、WTW、SE、年龄、 AL、hSTS、vSTS	Spearman 相关系数	高质量
彭慧等 ^[34]	2022	中国	104/104	3 个月	24.74 $\pm$ 5.58	横断面研究	642 $\pm$ 255	HD-OCT 5000(德国 Carl Zeiss 公司)	ACD、ICL 直径、WTW、CLT	Spearman 和 Pearson 相关系数	高质量
庄棕茗 等 ^{*[35]}	2021	中国	50/100	1 个月	27.50 $\pm$ 6.20	横断面研究	439.32 $\pm$ 182.00	Pentacam(德国 Oculus 公司)	post-ACA	Pearson 相关系数	中等质量
王卫群等 ^[36]	2021	中国	81/81	1 个月	24.10 $\pm$ 3.90	横断面研究	540 $\pm$ 150	Visante OCT(德国 Carl Zeiss 公司)	post-ACA	Pearson 相关系数	高质量
王静等 ^{*[37]}	2021	中国	103/176	1 年	26.70 $\pm$ 7.03	横断面研究	487.43 $\pm$ 205.23	Pentacam(德国 Oculus 公司)	CLR	Pearson 相关系数	中等质量
李娜等 ^[38]	2021	中国	96/186	3 个月	25.17 $\pm$ 4.57	横断面研究	431.90 $\pm$ 243.80	Pentacam(德国 Oculus 公司)	ACD、WTW、SE、AL、ACV、Km	Spearman 相关系数	中等质量
童奇湖等 ^[39]	2020	中国	36/72	6 个月	24.89 $\pm$ 5.63	横断面研究	620.88 $\pm$ 257.02	Visante OCT(德国 Carl Zeiss 公司)	ACD、ICL 直径、WTW	Pearson 相关系数	中等质量

注：*：相同作者的不同研究；#：对应研究特定随访时间节点的平均拱高 OCT：光学相干断层扫描；ACD：前房深度；WTW：角膜水平直径；PD：瞳孔直径；hSTS：水平睫状沟距离；vSTS：垂直睫状沟距离；SE：等效球镜度；CLR：晶状体矢高；Kf：平坦轴角膜曲率；Ks：陡峭轴角膜曲率；ICL：有晶状体眼后房型人工晶状体；AL：眼轴长度；CCT：中央角膜厚度；CLT：晶状体厚度；Km：平均角膜曲率；post-ACA：术后房角到房角的距离；ACV：前房容积
Note：*：different studies by the same author；#：mean vault at specific follow-up time points of the corresponding studies OCT：optical coherence tomography；ACD：anterior chamber depth；WTW：white-to-white；PD：pupil diameter；hSTS：horizontal sulcus to sulcus；vSTS：vertical sulcus to sulcus；SE：spherical equivalent；CLR：crystalline lens rise；Kf：flat keratometry；Ks：steep keratometry；ICL：implantable collamer lens；AL：axial length；CCT：central corneal thickness；CLT：crystalline lens thickness；Km：mean keratometry；post-ACA：postoperative anterior chamber angle width；ACV：anterior chamber volume

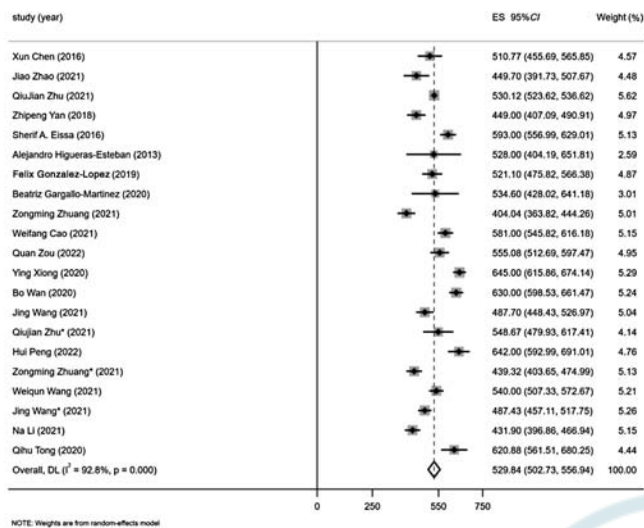


图2 拱高的 meta 分析结果 CI:置信区间

Figure 2 Meta-analysis results of vault CI: confidence interval

后 1 个月内减少了 $13.50 \mu\text{m}$, 拱高呈先增加后下降的趋势, 但拱高随时间延长总体呈下降趋势。经敏感性分析, 逐一剔除文献, 结果未见明显改变, 转换效应模型, 固定效应模型的合并效应量 ($531.28 \mu\text{m}$, $95\% \text{CI}: 525.98 \sim 536.58 \mu\text{m}$, $P < 0.01$) 与随机效应模型 ($529.84 \mu\text{m}$, $95\% \text{CI}: 502.73 \sim 556.94 \mu\text{m}$, $P < 0.01$) 基本一致, 表明合并结果稳定性较好, 且可信度高。利用漏斗图 (图 3)、Begg 检验 ($P = 0.93$) 和 Egger 检验 ($P = 0.97$) 进行发表偏倚分析, 无显著发表偏倚。

2.4 Fisher Z 中间转换值的 meta 分析

将被 3 篇及以上文献所提及的同一个相关因素纳入 meta 分析, 共有 17 个相关因素 (表 3), 包括术前的 ICL 直径、前房深度 (anterior chamber depth, ACD)、角膜水平直径 (white-to-white, WTW)、等效球镜度 (spherical equivalent, SE)、年龄、眼轴长度 (axial length, AL)、瞳孔直径 (pupil diameter, PD)、水平睫状

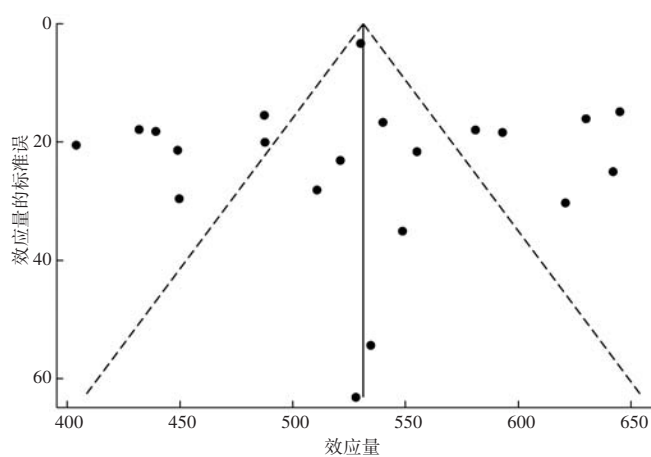


图3 拱高的漏斗图

Figure 3 Funnel plot of vault

沟距离 (horizontal sulcus to sulcus, hSTS)、垂直睫状沟距离 (vertical sulcus to sulcus, vSTS)、中央角膜厚度 (central corneal thickness, CCT)、晶状体厚度 (crystalline lens thickness, CLT)、晶状体矢高 (crystalline lens rise, CLR)、前房容积 (anterior chamber volume, ACV)、平均角膜曲率 (mean keratometry, Km)、平坦轴角膜曲率 (flat keratometry, Kf)、陡峭轴角膜曲率 (steep keratometry, Ks) 及术后房角到房角的距离 (postoperative anterior chamber angle width, post-ACA)。meta 分析以 WTW 为例, 10 篇文献 741 例患者 1 162 眼分析了 WTW 与拱高的相关性, 异质性检验结果显示, 各文献间异质性较小 ($I^2 = 19.50\%$, $P = 0.26$), 采用固定效应模型进行 meta 分析。结果显示, WTW 的结果具有统计学意义 (Fisher $Z = 0.30$, $95\% \text{CI}: 0.24 \sim 0.36$, $P < 0.01$) (图 4), 说明 WTW 与拱高呈正相关 ($r = 0.29$, $95\% \text{CI}: 0.24 \sim 0.35$)。

相关因素中 WTW、SE、CCT、Kf、Ks 的异质性较小, 采用固定效应模型合并其效应量; ACD、ICL 直径、

表2 拱高的亚组分析
Table 2 Subgroup analysis of vault

拱高及其亚组	文献数量	异质性检验		合并效应量	
		P 值	I^2 (%)	拱高 ($95\% \text{CI}$, μm)	P 值
拱高	21 ^[19-39]	<0.01	92.80	529.84 (502.73~556.94)	<0.01
测量仪器					
Pentacam	12 ^[19-23, 27, 29, 32-33, 35, 37-38]	<0.01	91.40	490.20 (458.93~521.47)	<0.01
OCT	9 ^[24-26, 28, 30-31, 34, 36, 39]	<0.01	81.90	589.30 (554.04~624.55)	<0.01
随访时间					
≤1 个月	9 ^[19, 21, 23, 25, 27, 29-30, 35-36]	<0.01	94.10	527.40 (487.81~567.00)	<0.01
3 个月	5 ^[24, 31, 33-34, 38]	<0.01	95.10	557.28 (458.88~655.67)	<0.01
≥6 个月	7 ^[20, 22, 26, 28, 32, 37, 39]	<0.01	86.60	513.90 (466.70~561.10)	<0.01

注: OCT: 光学相干断层扫描; CI: 置信区间

Note: OCT: optical coherence tomography; CI: confidence interval



中华医学杂志
Chinese Medical Association Publishing House

版权所有 违者必究

表 3 相关因素与拱高的相关性及纳入研究的发表偏倚
Table 3 Correlation between related factors and vault and publication bias of included studies

相关因素	文献数量	样本量 (例数/眼数)	异质性检验		效应 模型	合并效应量		合并相关系数 (95% CI)	发表偏倚(P 值)	
			P 值	I ² (%)		Fisher Z (95% CI)	P 值		Begg 检验	Egger 检验
ACD	15 ^[19-22,26-34,38-39]	927/1 458	<0.01	63.60	随机	0.43(0.34-0.52)	<0.01	0.40(0.33-0.48)	0.49	0.39
ICL 直径	8 ^[21,28-31,33-34,39]	606/937	0.01	60.90	随机	0.44(0.33-0.55)	<0.01	0.42(0.32-0.50)	0.54	0.39
WTW	10 ^[19,21,28-31,33-34,38-39]	741/1 162	0.26	19.50	固定	0.30(0.24-0.36)	<0.01	0.29(0.24-0.35)	0.86	0.82
SE	7 ^[20-21,29-31,33,38]	536/863	0.29	18.90	固定	-0.03(-0.10-0.04)	0.42	-0.03(-0.10-0.04)	0.76	0.46
年龄	7 ^[20-21,24,28,30-31,33]	478/750	0.05	53.10	随机	-0.21(-0.33--0.09)	<0.01	-0.20(-0.32--0.09)	1.00	0.29
AL	6 ^[21,28,30-31,33,38]	530/884	0.04	57.60	随机	0.20(0.09-0.31)	<0.01	0.20(0.09-0.30)	0.71	0.71
post-ACA	5 ^[22-23,31,35-36]	262/436	<0.01	91.20	随机	-0.37(-0.70--0.04)	0.03	-0.35(-0.60--0.04)	1.00	1.00
PD	5 ^[19-21,25,31]	275/387	0.04	59.70	随机	0.32(0.15-0.49)	<0.01	0.31(0.15-0.45)	0.81	0.29
hSTS	4 ^[19,21,29,33]	235/266	0.05	61.10	随机	0.18(-0.03-0.38)	0.09	0.17(-0.03-0.36)	1.00	0.70
vSTS	4 ^[19,21,29,33]	235/266	0.03	66.00	随机	0.02(-0.19-0.24)	0.83	0.02(-0.19-0.24)	0.31	0.33
CCT	4 ^[21,28-30]	313/540	0.13	47.80	固定	-0.12(-0.20--0.03)	0.01	-0.12(-0.20--0.03)	1.00	0.16
CLT	4 ^[21,29-30,34]	357/526	<0.01	91.10	随机	-0.35(-0.67--0.04)	0.03	-0.34(-0.58--0.04)	0.31	0.14
CLR	3 ^[20,32,37]	177/290	0.07	62.80	随机	-0.63(-0.85--0.42)	<0.01	-0.56(-0.69--0.40)	0.30	0.20
ACV	3 ^[29-30,38]	266/525	0.01	81.00	随机	0.32(0.11-0.54)	0.00	0.31(0.11-0.49)	1.00	0.60
Km	3 ^[21,31,38]	251/409	0.04	69.00	随机	-0.08(-0.26-0.10)	0.40	-0.08(-0.25-0.10)	1.00	0.44
Kf	3 ^[20-21,30]	255/393	0.20	38.40	固定	-0.01(-0.11-0.09)	0.83	-0.01(-0.11-0.09)	1.00	0.96
Ks	3 ^[20-21,30]	255/393	0.68	0.00	固定	0.01(-0.09-0.11)	0.90	0.01(-0.09-0.11)	1.00	0.84

注: ACD: 前房深度; ICL: 有晶体眼后房型人工晶体; WTW: 角膜水平直径; SE: 等效球镜度; AL: 眼轴长度; post-ACA: 术后房角到房角的距离; PD: 瞳孔直径; hSTS: 水平睫状沟距离; vSTS: 垂直睫状沟距离; CCT: 中央角膜厚度; CLT: 晶状体厚度; CLR: 晶状体矢高; ACV: 前房容积; Km: 平均角膜曲率; Kf: 平坦轴角膜曲率; Ks: 陡峭轴角膜曲率; CI: 置信区间
Note: ACD: anterior chamber depth; ICL: implantable collamer lens; WTW: white-to-white; SE: spherical equivalent; AL: axial length; post-ACA: postoperative anterior chamber angle width; PD: pupil diameter; hSTS: horizontal sulcus to sulcus; vSTS: vertical sulcus to sulcus; CCT: central corneal thickness; CLT: crystalline lens thickness; CLR: crystalline lens rise; ACV: anterior chamber volume; Km: mean keratometry; Kf: flat keratometry; Ks: steep keratometry; CI: confidence interval

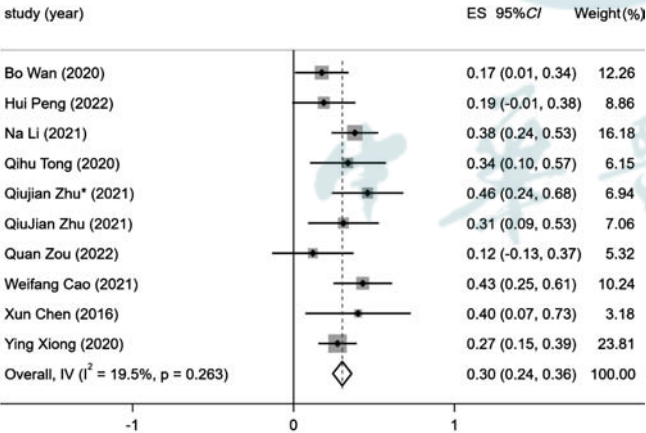


图 4 WTW 与拱高相关性的 meta 分析 WTW: 角膜水平直径; CI: 置信区间
Figure 4 Meta-analysis of the correlation between WTW and vault WTW: white-to-white; CI: confidence interval

年龄、AL、post-ACA、PD、hSTS、vSTS、CLT、CLR、ACV、Km 的异质性较大,采用随机效应模型合并其效应量 (Fisher Z)。Meta 分析结果显示, ICL 直径 (0.44, 95% CI: 0.33 ~ 0.55, $P < 0.01$)、ACD (0.43, 95% CI:

0.34 ~ 0.52, $P < 0.01$)、WTW (0.30, 95% CI: 0.24 ~ 0.36, $P < 0.01$)、AL (0.20, 95% CI: 0.09 ~ 0.31, $P < 0.01$)、PD (0.32, 95% CI: 0.15 ~ 0.49, $P < 0.01$)、ACV (0.32, 95% CI: 0.11 ~ 0.54, $P < 0.01$)、年龄 (-0.21, 95% CI: -0.33 ~ -0.09, $P < 0.01$)、post-ACA (-0.37, 95% CI: -0.70 ~ -0.04, $P = 0.03$)、CCT (-0.12, 95% CI: -0.20 ~ -0.03, $P = 0.01$)、CLT (-0.35, 95% CI: -0.67 ~ -0.04, $P = 0.03$)、CLR (-0.63, 95% CI: -0.85 ~ -0.42, $P < 0.01$) 结果具有统计学意义。SE (-0.03, 95% CI: -0.10 ~ 0.04, $P = 0.42$)、hSTS (0.18, 95% CI: -0.03 ~ 0.38, $P = 0.09$)、vSTS (0.02, 95% CI: -0.19 ~ 0.24, $P = 0.83$)、Km (-0.08, 95% CI: -0.26 ~ 0.10, $P = 0.40$)、Kf (-0.01, 95% CI: -0.11 ~ 0.09, $P = 0.83$)、Ks (0.01, 95% CI: -0.09 ~ 0.11, $P = 0.90$) 结果无统计学意义。

2.5 亚组分析

ACD 和 ICL 直径这 2 个因素的统计分析显示异质性较大 ($I^2 = 63.60\%$ 、 60.90% , 均 $P < 0.05$), 并且提及这 2 个因素的文献数量较多, 故进行亚组分析以探

索混杂因素的影响。在测量仪器方面,无论是 Pentacam 还是眼前节 OCT 测量拱高所对应的相关系数异质性仍然较高;在随访时间方面,按照术后 1 个月内、术后 3 个月、手术 6 个月以后分为 3 个组,结果显示术后 1 个月内的 ACD 和 ICL 直径、手术 6 个月以后的 ICL 直径与拱高相关系数的异质性明显降低($I^2 = 44.30\%、34.70\%、0\%$, 均 $P > 0.05$)。所有亚组的合并效应量具有统计学意义(表 4)。

2.6 敏感性分析和发表偏倚

通过转换效应模型对异质性较大的相关因素进行敏感性分析,分别在随机效应模型和固定效应模型下计算 ACD、ICL 直径、年龄、AL、post-ACA、PD、hSTS、vSTS、CLT、CLR、ACV、Km 共 12 项相关因素的合并 Fisher Z 值,结果表明合并效应量稳定性较好且可信度高(表 5)。采用漏斗图、Egger 检验和 Begg 检验进行发表偏倚分析,漏斗图以 WTW 为例,发表偏倚分析结果显示所有相关因素均无显著发表偏倚(图 5,表 3)。

2.7 相关因素与拱高的相关性

ICL 直径($r = 0.42, 95\%CI: 0.32 \sim 0.50$)、ACD($r = 0.40, 95\%CI: 0.33 \sim 0.48$)、WTW($r = 0.29, 95\%CI: 0.24 \sim 0.35$)、年龄($r = -0.20, 95\%CI: -0.32 \sim -0.09$)、AL($r = 0.20, 95\%CI: 0.09 \sim 0.30$)、post-ACA($r = -0.35, 95\%CI: -0.60 \sim -0.04$)、PD($r = 0.31, 95\%CI: 0.15 \sim 0.45$)、CCT($r = -0.12, 95\%CI: -0.20 \sim -0.03$)、CLT($r = -0.34, 95\%CI: -0.58 \sim -0.04$)、CLR($r = -0.56, 95\%CI: -0.69 \sim -0.40$)、ACV($r = 0.31, 95\%CI: 0.11 \sim 0.49$)与拱高具有相关性(均 $P < 0.05$),其中 ICL 直径、ACD、WTW、AL、PD、ACV 均与拱高呈正相关,年龄、post-ACA、CCT、CLT、CLR 均与拱高呈负相关,ICL 直径、ACD、CLR 与拱高呈中等程度

相关,CCT 与拱高呈极弱相关,其余因素与拱高呈弱相关。 $SE(r = -0.03, 95\%CI: -0.10 \sim 0.04)$ 、 $hSTS(r = 0.17, 95\%CI: -0.03 \sim 0.36)$ 、 $vSTS(r = 0.02, 95\%CI: -0.19 \sim 0.24)$ 、 $Km(r = -0.08, 95\%CI: -0.25 \sim 0.10)$ 、 $Kf(r = -0.01, 95\%CI: -0.11 \sim 0.09)$ 、 $Ks(r = 0.01, 95\%CI: -0.09 \sim 0.11)$ 与拱高均无明显相关性(均 $P > 0.05$)。

表 4 ACD 与 ICL 直径的亚组分析
Table 4 Subgroup analysis of ACD and ICL size

相关因素 及其亚组	文献数量	样本量 (例数/眼数)	异质性检验		合并效应量	
			<i>P</i> 值	<i>I</i> ² (%)	Fisher <i>Z</i> (95% <i>CI</i>)	<i>P</i> 值
ACD						
测量仪器						
Pentacam	9 ^[19-22,27,29,32-33,38]	478/709	0.01	63.30	0.45(0.32-0.58)	<0.01
OCT	6 ^[26,28,30-31,34,39]	449/749	0.02	61.20	0.39(0.27-0.52)	<0.01
随访时间						
≤1 个月	5 ^[19,21,27,29-30]	333/543	0.13	44.30	0.36(0.23-0.49)	<0.01
3 月	4 ^[31,33-34,38]	353/511	0.10	51.40	0.39(0.27-0.52)	<0.01
≥6 月	6 ^[20,22,26,28,32,39]	241/404	0.01	66.00	0.51(0.33-0.69)	<0.01
ICL 直径						
测量仪器						
Pentacam	3 ^[21,29,33]	196/227	0.06	64.80	0.46(0.23-0.68)	<0.01
OCT	5 ^[28,30-31,34,39]	410/710	0.02	65.80	0.43(0.30-0.57)	<0.01
随访时间						
≤1 个月	3 ^[21,29-30]	253/422	0.22	34.70	0.35(0.22-0.49)	<0.01
3 个月	3 ^[31,33-34]	257/325	0.10	57.30	0.42(0.25-0.59)	<0.01
≥6 个月	2 ^[28,39]	96/190	0.41	0.00	0.62(0.48-0.77)	<0.01

注:ACD:前房深度;ICL:有晶状体眼后房型人工晶状体;OCT:光学相干断层扫描;CI:置信区间
Note:ACD:anterior chamber depth;ICL:implantable collamer lens;OCT:optical coherence tomography;
CI:confidence interval

表 5 相关因素与拱高的敏感性分析
Table 5 Sensitivity analysis of the association between related factors and vault

相关因素	Fisher Z(95%CI)	
	随机效应模型	固定效应模型
ACD	0.43(0.34-0.52)	0.41(0.36-0.46)
ICL 直径	0.44(0.33-0.55)	0.43(0.36-0.49)
年龄	-0.21(-0.33--0.09)	-0.18(-0.25--0.11)
AL	0.20(0.09-0.31)	0.19(0.12-0.26)
post-ACA	-0.37(-0.70--0.04)	-0.36(-0.46--0.27)
PD	0.32(0.15-0.49)	0.29(0.19-0.39)
hSTS	0.18(-0.03-0.38)	0.17(0.05-0.29)
vSTS	0.02(-0.19-0.24)	0.00(-0.12-0.12)
CLT	-0.35(-0.67--0.04)	-0.23(-0.32--0.14)
CLR	-0.63(-0.85--0.42)	-0.69(-0.81--0.57)
ACV	0.32(0.11-0.54)	0.28(0.20-0.37)
Km	-0.08(-0.26-0.10)	-0.10(-0.20--0.00)

注:CI:置信区间;ACD:前房深度;ICL:有晶状体眼后房型人工晶状体;AL:眼轴长度;post-ACA:术后房角到房角的距离;PD:瞳孔直径;hSTS:水平睫状沟距离;vSTS:垂直睫状沟距离;CLT:晶状体厚度;CLR:晶状体矢高;ACV:前房容积;Km:平均角膜曲率

Note:CI:confidence interval;ACD:anterior chamber depth;ICL:implantable collamer lens;AL:axial length;post-ACA:postoperative anterior chamber angle width;PD:pupil diameter;hSTS:horizontal sulcus to sulcus;vSTS:vertical sulcus to sulcus;CLT:crystalline lens thickness;CLR:crystalline lens rise;ACV:anterior chamber volume;Km:mean keratometry

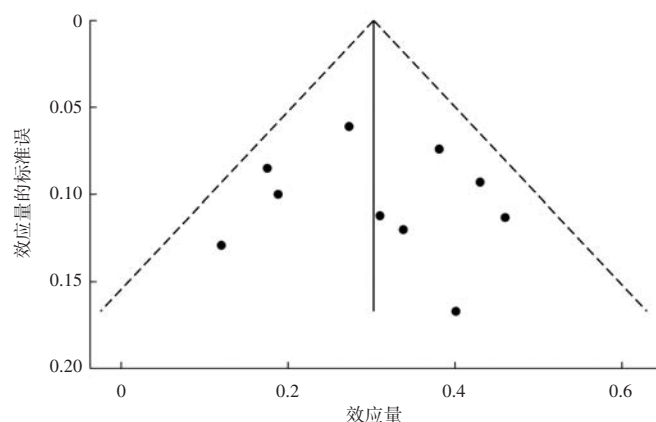


图5 WTW与拱高相关性的漏斗图 WTW:角膜水平直径
Figure 5 Funnel plots of the correlation between WTW and vault WTW: white-to-white

3 讨论

理想的拱高不仅是确保 ICL 植入术后安全性的关键指标,而且对于减少术后并发症的发生风险具有重要意义。临床上一般按照 STAAR 公司推荐的 ACD 和 WTW 来选择植入的 ICL 尺寸。但有研究表明,ICL 植入术后拱高的相关因素远不止于此,当选择的 ICL 尺寸处于临界值时,基于以上 2 个因素选择的 ICL 尺寸可能并不理想^[8]。探索拱高的相关因素及其相关性对预测术后拱高,指导 ICL 的选择具有重要意义。

本研究纳入文献的拱高均值是 529.84 μm (95% CI: 502.73~556.94 μm),处于理想拱高范畴,根据亚组分析可知,Pentacam 测量的拱高比 OCT 测量的拱高小 99.10 μm ,与既往研究结果相似。Almorín-Fernández-Vigo 等^[5]研究了西班牙患者 80 眼,发现 Pentacam 测量的拱高比 OCT 测量的拱高小 128.1 μm ;Wan 等^[40]评估了中国患者 82 眼,结果显示 2 种仪器测量的拱高值相差 210 μm ,也进一步说明了此结论不受种族的影响。此外,拱高随着术后随访时间的延长,存在一定波动性,术后 3 个月较术后 1 个月增加,随后降低,随着时间延长拱高整体呈现逐渐减少的趋势,与既往研究结果一致^[41]。

本研究发现,ICL 直径、ACD、PD、WTW、ACV、AL 与 ICL 植入术后拱高呈正相关。ICL 脚襻的理想位置是位于睫状沟内,ICL 尺寸略大于睫状沟的直径,通过挤压 ICL 产生拱高。所以对于同一患者,当 STS 一定时,植入的 ICL 直径越大,拱高越大,ICL 直径与拱高呈正相关。根据亚组分析可知,无论使用哪种仪器测量拱高,对分析 ICL 直径与拱高的相关性没有显著影响。在随访时间上可以看出,手术 1 个月内与 6 个月以后评估 ICL 直径与拱高的相关性结果一致。

ACD 和 WTW 作为选择 ICL 尺寸的重要参数,可能也会影响术后拱高,在 WTW 相同的情况下,ACD 越深,选择的 ICL 直径应越长,则术后拱高越大。根据 Lim 等^[42]对术前低 ACD 患者的随访研究发现,术后拱高低于预测值,提示在确定 ACD 较浅眼的 ICL 尺寸时,应考虑患者术后拱高小于预期值。本研究中 ACD 与拱高的相关性大于 WTW 与拱高的相关性,且 WTW 与拱高呈弱正相关,考虑可能与 WTW 的测量仪器不同有关。Meta 分析纳入的研究中测量 WTW 的仪器包括 Pentacam、IOL Master、超声生物显微镜 (ultrasound biomicroscopy, UBM)、OPD-Scan III 和卡尺,不同仪器对 WTW 的定义及测量结果存在差异^[43]。临床上测量 WTW 是为了估算 STS,在 WTW 的基础上增加 0.5~1.0 mm 以估算 STS,然而 WTW 与 hSTS 的相关性会随 ACD 的增加而减弱^[44]。而后房形态呈垂直椭圆形, vSTS 大于 hSTS,这也是用 WTW 预测 STS 时,其准确性及重复性一直受到质疑的原因。因此,当同时需要评估 ACD 与 WTW 时,可优先考虑 ACD,因其可靠性更高。根据亚组分析结果,术后 1 个月内评估 ACD 与拱高的相关性得到的结论更可靠。

PD 与拱高呈正相关,以往的研究发现,拱高的变化与光线强度和调节导致的 PD 改变有关^[45]。光线强度增强,瞳孔收缩,虹膜施加于 ICL 的力量增加,拱高下降。Kumar 等^[46]研究发现,拱高受光照强度影响发生动态变化,明环境下拱高相对偏低,暗环境下相对偏高,但其动态变化仍可保持在相对安全的范围之内。这也解释了本研究中发现的 Pentacam 测量的拱高比 OCT 测量的拱高偏小,Pentacam 测得的拱高相当于强光下的拱高,OCT 测得的拱高更接近自然状态下拱高。Lee 等^[47]证实了当人眼发生调节时,瞳孔缩小,虹膜移行压迫 ICL,同时睫状肌收缩使得晶状体前表面曲率增加,晶状体前顶点向前移动(每发生 1.0 D 的调节向前移动 30 μm),从而导致拱高下降。因此,在测量拱高时需充分考虑环境、光照和调节等因素的影响,确保在一致的条件下进行测量。

本研究发现,CLR、CLT、年龄、post-ACA、CCT 与拱高呈负相关,相关性最强的是 CLR。CLR 是自身晶状体前顶点到两前房角连线的垂直距离^[48],具有个体差异,既往研究表明,CLR 越大,则自身晶状体越靠近 ICL,拱高越小^[49]。Cerpa Manito 等^[50]在寻找拱高不良预测因子的研究中发现,高 CLR 是低拱高的主要危险因素。研究还证明 CLR 受到年龄和 PD 的影响,CLR 随年龄增加、瞳孔缩小而增加,所以当考虑 CLR 对拱高的影响时,要参考年龄、瞳孔变化因素的影响。

响^[6,47]。CLT 与拱高呈负相关, Atchison 等^[51]发现随着年龄增长, ACD 每年下降约 11 μm , 自身晶状体的中央厚度每年增加约 24 μm , 而增厚的晶状体的前表面会更向前突出, 导致拱高降低。Schimidinger 等^[6]发现, 植入 ICL 后晶状体厚度平均每年增加 20 μm , 与 28 $\mu\text{m}/\text{年}$ 的拱高下降速率基本一致, 这也进一步解释了拱高随时间缓慢下降的主要原因是自身晶状体中央厚度随年龄增长而增厚, 即患者的 CLR 随时间的推移而增加。随着年龄增长, 晶状体增厚, 前房变浅, 睫状肌顶点前移并且睫状肌厚度也增加, 这些因素或许会影响 ICL 脚襻附着于后房的位置, 继而影响术后拱高^[51]。年龄是术后拱高异常的危险因素^[52], Tañá-Rivero 等^[53]观察了 40 岁以上患者植入 V4c 型 ICL 后 1 年的随访结果, 发现其平均拱高为 $(320 \pm 136) \mu\text{m}$, 较理想拱高值偏低, 并且术后常见的拱高范围为 201 ~ 300 μm 。因此, 当眼部参数一致并且植入相同尺寸 ICL 时, 老年患者较年轻患者的拱高低。

本研究还发现, SE、hSTS、vSTS、Km、Kf、Ks 与拱高均无明显相关性。ICL 放置在睫状沟内, 理论上来说 STS 与拱高应具有直接关系, 既往研究也证明 STS 是影响拱高的关键因素^[11,54], 但本研究结果显示, 二者无明显相关性, 分析可能与以下原因有关: (1) 提及 STS 的文献有 4 篇^[19,21,29,33], 文献数量较少, 其中 2 篇^[21,33]是同一作者的不同研究, 一篇文献中显示 STS 与拱高无明显相关性, 但作者进行回归分析后结果显示, STS 是预测术后拱高的关键因素, 而且 STS 的相关性在这 2 项研究中结果相差较大; (2) 临床中应用 UBM 测量 STS, 很难保证经过瞳孔中心的水平位方向, 其测量值依赖于操作技师的水平, 导致测量误差较大, 重复性欠佳^[55], 这些因素可能会对 meta 分析的结果产生影响, STS 与拱高的相关性有待进一步研究。

将较少文献提及的因素进行分析发现, 距离巩膜突 500 μm 处的房角开放距离、距离巩膜突 500 μm 处的小梁网虹膜面积、ICL 直径与角膜水平直径的差值、ICL 直径与睫状沟距离的差值、房角到房角的距离与拱高具有相关性, 而眼压、性别与拱高无相关性, 但还需更多的研究加以证明。随着 UBM 和眼前节 OCT 在临床中的广泛应用, 近几年有诸多关于虹膜、睫状体与拱高的相关性研究。Reinstein 等^[56]的研究证明, 睫状体内径与拱高的相关性比 STS 更高, 睫状体内径越小, 术后拱高越高。一项探讨低拱高危险因素的研究发现, 较短的睫状突长度是术后拱高偏低的重要危险因素^[57]。Yang 等^[58]的研究发现晶状体偏厚眼的虹膜形状异常与术后拱高之间的关系, 凹形虹膜表现为低拱

高的风险较高, 凸形虹膜表现为高拱高的风险较高。同时, 研究还发现虹膜反向膨隆度大与术后早期低拱高有关^[59], 这些发现为临床医生提供了一个关于拱高预测和 ICL 选择的新见解。

目前临床上有多项关于拱高相关因素的研究, 而这些因素与拱高的相关性仍存在争议, 对于相同的因素, 不同研究的结论稍有出入。本研究收集了 2011 年 1 月至 2022 年 8 月有关拱高相关因素的研究, 全面总结了拱高与其相关因素的相关性, 结果显示 ICL 直径、ACD、PD、WTW、ACV、AL 与 ICL 植入术后拱高均呈正相关, 其中以 ICL 直径、ACD 的相关性较强; 年龄、post-ACA、CCT、CLT、CLR 与拱高均呈负相关, 其中以 CLR 的相关性较强。同时关于术后拱高的测量, Pentacam 测量的拱高比 OCT 测量的拱高偏小, 且拱高随着术后时间的延长呈逐渐下降趋势。既往未见关于拱高相关因素的 meta 分析报道, 此研究全面分析了目前 V4c 型 ICL 植入术后拱高与其相关因素的关联, 对现有的研究进行归纳总结, 具有较好的临床意义。

本研究设计中存在一定的局限性。首先, 以拱高作为变量分析时异质性较大, 虽然做了 2 个亚组分析探索异质性来源, 但还有很多可能产生异质性的因素, 如国家、性别、相关因素的测量方法、研究类型等, 因纳入相关的文献数量不足, 尤其是干预性的研究较少, 故未进行分析。其次, 本研究纳入的结局指标是相关系数, 仅能反映拱高与相关因素之间的密切程度, 也有部分研究是采用回归分析方法定量分析相关因素对拱高的影响大小, 但这部分研究需使用的 meta 分析方法与相关性分析不一致, 无法同时开展统计分析, 故未纳入。此外, 本研究仅限于以英文或中文发表的文献, 可能会存在选择偏倚。

总之, 尽管本 meta 分析存在局限性, 但目前所有可用的证据都支持 ICL 直径、ACD 与拱高具有较强的正相关性; CLR 与拱高具有较强的负相关性。拱高与多项因素存在关联, 且受测量方法、术后随访时间影响, Pentacam 测量的拱高比 OCT 测量的拱高偏小, 同时拱高会随着术后时间延长逐渐下降, 其预测需综合参考这些相关因素对拱高存在的可能影响。在未来, 需进行更大规模的前瞻性干预性研究来验证这些发现。本研究结果为临床中选择合适的 ICL 尺寸、获得理想的拱高提供了参考。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 王静: 试验设计、统计分析、文章撰写; 沙玛丽·哈力木别克、陈利群、王富江: 文献筛选、数据整理; 易湘龙: 研究指导、论文审阅及定稿

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 [J]. *Ophthalmology*, 2016, 123 (5) : 1036–1042. DOI: 10.1016/j.ophtha.2016.01.006.
- [2] Nakamura T, Isogai N, Kojima T, et al. Posterior chamber phakic intraocular lens implantation for the correction of myopia and myopic astigmatism: a retrospective 10-year follow-up study [J]. *Am J Ophthalmol*, 2019, 206 : 1–10. DOI: 10.1016/j.ajo.2019.04.024.
- [3] 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 [J]. *Eye Vis (Lond)*, 2021, 8 (1) : 23. DOI: 10.1186/s40662-021-00247-1.
- [4] 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. DOI: 10.2147/OPTH.S379856.
- [5] Almorín-Fernández-Vigo I, Sánchez-Guillén I, Fernández-Vigo JI, et al. Agreement between optical coherence and Scheimpflug tomography: vault measurements and reproducibility after implantable collamer lens implantation [J]. *J Fr Ophtalmol*, 2021, 44 (9) : 1370–1380. DOI: 10.1016/j.jfo.2021.03.007.
- [6] Schmidinger G, Lackner B, Pieh S, et al. Long-term changes in posterior chamber phakic intraocular collamer lens vaulting in myopic patients [J]. *Ophthalmology*, 2010, 117 (8) : 1506–1511. DOI: 10.1016/j.ophtha.2009.12.013.
- [7] Packer M. The implantable collamer lens with a central port: review of the literature [J]. *Clin Ophthalmol*, 2018, 12 : 2427–2438. DOI: 10.2147/OPTH.S188785.
- [8] Montés-Micó R, Ruiz-Mesa R, Rodríguez-Prats JL, et al. Posterior-chamber phakic implantable collamer lenses with a central port: a review [J/OL]. *Acta Ophthalmol*, 2021, 99 (3) : e288–e301 [2025–04–10]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32841517/>. DOI: 10.1111/aos.14599.
- [9] Zhang H, Gong R, Zhang X, et al. Analysis of perioperative problems related to intraocular implantable collamer lens (ICL) implantation [J]. *Int Ophthalmol*, 2022, 42 (11) : 3625–3641. DOI: 10.1007/s10792-022-02355-w.
- [10] Zhao W, Zhao J, Han T, et al. A comprehensive investigation of contrast sensitivity and disk halo in high myopia treated with SMILE and EVO implantable collamer lens implantation [J]. *Transl Vis Sci Technol*, 2022, 11 (4) : 23. DOI: 10.1167/tvst.11.4.23.
- [11] Kim BK, Chung YT. Clinical results of Visian implantable collamer lens implantation according to various sizes and implantation angles [J]. *Eur J Ophthalmol*, 2022, 32 (4) : 2041–2050. DOI: 10.1177/11206721211033468.
- [12] Zhang Z, Niu L, Liu T, et al. Primary observations of EVO ICL implantation for high myopia with concave iris [J]. *Eye Vis (Lond)*, 2023, 10 (1) : 18. DOI: 10.1186/s40662-023-00335-4.
- [13] 孙燕, 盛迅伦, 周激波. 可植入式人工晶状体植入后眼内稳定性及其影响因素 [J]. *中华实验眼科杂志*, 2024, 42 (7) : 675–679. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20221214-00586.
- [13] Sun Y, Sheng XL, Zhou JB. Crystal stability after posterior chamber phakic intraocular lens implantation and its influencing factors [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2024, 42 (7) : 675–679. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20221214-00586.
- [14] Choi H, Kim T, Kim SJ, et al. Predicting postoperative anterior chamber angle for phakic intraocular lens implantation using preoperative anterior segment metrics [J]. *Transl Vis Sci Technol*, 2023, 12 (1) : 10. DOI: 10.1167/tvst.12.1.10.
- [15] Yang J, Li H, Wu M, et al. A vault-prediction formula for implantable collamer lens based on preoperative parameters: a retrospective clinical study [J]. *BMC Ophthalmol*, 2023, 23 (1) : 350. DOI: 10.1186/s12886-023-03096-9.
- [16] Sterne J, Savović J, Page MJ, et al. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials [J]. *BMJ*, 2019, 366 : 14898. DOI: 10.1136/bmj.14898.
- [17] Stang A. Critical evaluation of the Newcastle-Ottawa scale for the assessment of the quality of nonrandomised studies in meta-analyses [J]. *Eur J Epidemiol*, 2010, 25 (9) : 603–605. DOI: 10.1007/s10654-010-9491-z.
- [18] Mao DH, Miao JK, Zou X, et al. Risk factors in predicting prognosis of neonatal bacterial meningitis—a systematic review [J]. *Front Neurol*, 2018, 9 : 929. DOI: 10.3389/fneur.2018.00929.
- [19] Chen X, Miao H, Naidu RK, et al. Comparison of early changes in and factors affecting vault following posterior chamber phakic implantable collamer lens implantation without and with a central hole (ICL V4 and ICL V4c) [J]. *BMC Ophthalmol*, 2016, 16 (1) : 161. DOI: 10.1186/s12886-016-0336-8.
- [20] 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 [J/OL]. *Acta Ophthalmol*, 2021, 99 (6) : e852–e859 [2025–04–10]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33369209/>. DOI: 10.1111/aos.14720.
- [21] Zhu QJ, Chen WJ, Zhu WJ, et al. Short-term changes in and preoperative factors affecting vaulting after posterior chamber phakic implantable collamer lens implantation [J]. *BMC Ophthalmol*, 2021, 21 (1) : 199. DOI: 10.1186/s12886-021-01963-x.
- [22] Yan Z, Miao H, Zhao F, et al. Two-year outcomes of Visian implantable collamer lens with a central hole for correcting high myopia [J]. *J Ophthalmol*, 2018, 2018 : 8678352. DOI: 10.1155/2018/8678352.
- [23] 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]. *J Ophthalmol*, 2016, 2016 : 1383289. DOI: 10.1155/2016/1383289.
- [24] Higuera-Esteban A, Ortiz-Gomariz A, Gutiérrez-Ortega R, et al. Intraocular pressure after implantation of the Visian implantable collamer lens with centraFLOW without iridotomy [J]. *Am J Ophthalmol*, 2013, 156 (4) : 800–805. DOI: 10.1016/j.ajo.2013.05.018.
- [25] Kato S, Shimizu K, Igarashi A. Vault changes caused by light-induced pupil constriction and accommodation in eyes with an implantable collamer lens [J]. *Cornea*, 2019, 38 (2) : 217–220. DOI: 10.1097/ICO.0000000000001785.
- [26] Gargallo-Martínez B, García-Medina JJ, Rubio-Velázquez E, et al. Vault changes after cyclopentolate instillation in eyes with posterior chamber phakic intraocular lens [J]. *Sci Rep*, 2020, 10 (1) : 9646. DOI: 10.1038/s41598-020-66146-y.
- [27] 庄棕茗, 左慧懿, 谭少健. V4c 型带中心孔植入式晶状体植入术后早期拱高的变化及其与术前前房深度的相关性分析 [J]. *广西医学*, 2021, 43 (8) : 957–961. DOI: 10.11675/j.issn.0253-4304.2021.08.12.
- [27] Zhuang ZM, Zuo HY, Tan SJ. Early-stage changes in vaulting after implantation of V4c implantable collamer lens with a central port and its correlation with preoperative anterior chamber depth [J]. *Guangxi Med J*, 2021, 43 (8) : 957–961. DOI: 10.11675/j.issn.0253-4304.2021.08.12.
- [28] 曹伟芳, 张素华, 刘迁. 有晶状体眼人工晶状体植入术后拱高及其影响因素研究 [J]. *中华眼外伤职业眼病杂志*, 2021, 43 (4) : 247–253. DOI: 10.3760/cma.j.cn116022-20201013-00330.
- [28] Cao WF, Zhang SH, Liu Q. Study on the vault measurement and influencing factors after V4c ICL implantation in phakic eyes [J]. *Chin J Ocul Traum Occupat Eye Dis*, 2021, 43 (4) : 247–253. DOI: 10.3760/cma.j.cn116022-20201013-00330.
- [29] 邹泉, 郑洪玲, 程蕾, 等. 高度近视患者后房型有晶状体眼人工晶状体植入术后拱高的变化及其影响因素 [J]. *眼科新进展*, 2022, 42 (6) : 456–460. DOI: 10.13389/j.cnki.rao.2022.0093.
- [29] Zou Q, Zheng HL, Cheng L, et al. Vault changes in patients with high myopia after the implantation of an im-plantable collamer lens and their influencing factors [J]. *Rec Adv Ophthalmol*, 2022, 42 (6) : 456–460. DOI: 10.13389/j.cnki.rao.2022.0093.
- [30] 熊瑛, 毛迎燕, 张青, 等. 中央孔型眼内视镜植入术后拱高的影响因素 [J]. *眼科*, 2020, 29 (6) : 448–452. DOI: 10.13281/j.cnki.issn.1004-4469.2020.06.008.
- [30] Xiong Y, Mao YY, Zhang Q, et al. Influencing factors of vault after implantable collamer lens with central port implantation [J]. *Ophthalmol CHN*, 2020, 29 (6) : 448–452. DOI: 10.13281/j.cnki.issn.1004-4469.2020.06.008.
- [31] 万博, 李东辉, 罗岩, 等. 中心孔型有晶状体眼后房型人工晶体植入术后拱高变化及相关因素分析 [J]. *山东大学耳鼻喉眼学报*, 2020, 34 (2) : 36–41.



- Wan B, Li DH, Luo Y, et al. Lens vault changes and associated factors after implantation of implantable collamer lenses with central flow[J]. J Otolaryngol Ophthalmol Shandong Univ, 2020, 34(2): 36-41.
- [32] 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[J]. 国际眼科杂志, 2021, 21(2): 377-381. DOI: 10. 3980/j. issn. 1672-5123. 2021. 2. 39.
- Wang J, Wang ZY, Xu T, et al. Effect of crystalline lens rise on the vault after implantation of phakic posterior chamber implantable collamer lens[J]. Int Eye Sci, 2021, 21(2): 377-381. DOI: 10. 3980/j. issn. 1672-5123. 2021. 2. 39.
- [33] 朱秋健, 陈文静, 朱唯健, 等. 有晶状体眼后房型人工晶状体植入术后拱高相关因素分析[J]. 中华眼外伤职业眼病杂志, 2021, 43(2): 96-100. DOI: 10. 3760/cma. j. cn116022-20200619-00127.
- Zhu QJ, Chen WJ, Zhu WJ, et al. Analysis of influence factors related to the vaulting with ICL implantation[J]. Chin J Ocul Traum Occupat Eye Dis, 2021, 43(2): 96-100. DOI: 10. 3760/cma. j. cn116022-20200619-00127.
- [34] 彭慧, 王芳, 李金键, 等. 从力学角度探讨有晶状体眼后房型人工晶状体植入术后拱高的影响因素[J]. 中华眼科杂志, 2022, 58(8): 615-623. DOI: 10. 3760/cma. j. cn112142-20220214-00060.
- Peng H, Wang F, Li JJ, et al. Mechanical analysis of the impact of the morphology of the iris and ciliary body on the central vault after posterior chamber phakic intraocular lens implantation[J]. Chin J Ophthalmol, 2022, 58(8): 615-623. DOI: 10. 3760/cma. j. cn112142-20220214-00060.
- [35] 庄棕茗, 左慧懿, 谭少健. 新型中央孔型 ICL 植入矫正近视早期前房角与拱高的变化及其相关性研究[J]. 世界最新医学信息文摘, 2021, 21(35): 46-48. DOI: 10. 3969/j. issn. 1671-3141. 2021. 35. 014.
- [36] 王卫群, 郑方方, 杨菁, 等. 有晶状体眼后房型人工晶状体植入术后前房角的变化及相关因素分析[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2021, 23(6): 414-420. DOI: 10. 3760/cma. j. cn115909-20201219-00490.
- Wang WQ, Zheng FF, Yang J, et al. The alteration of the anterior chamber angle and related factors after posterior chamber intraocular lens implantation in phakic eyes[J]. Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci, 2021, 23(6): 414-420. DOI: 10. 3760/cma. j. cn115909-20201219-00490.
- [37] 王静, 汪卓赞, 张青, 等. 50 MHz 全景超声生物显微镜预测拱高与有晶状体眼后房型人工晶状体植入术后拱高的比较[J]. 临床眼科杂志, 2021, 29(1): 45-49. DOI: 10. 3969/j. issn. 1006-8422. 2021. 01. 011.
- Wang J, Wang ZY, Zhang Q, et al. Comparative analysis of preoperative predicted vaults by 50 MHz full-scale ultrasound biomicroscopy and postoperative real vaults in phakic posterior chamber implantable collamer lens[J]. J Clin Ophthalmol, 2021, 29(1): 45-49. DOI: 10. 3969/j. issn. 1006-8422. 2021. 01. 011.
- [38] 李娜, 唐苑婧, 蒋林志. ICL 植入术后晶体更换的原因分析[J]. 广西医科大学学报, 2021, 38(9): 1791-1794. DOI: 10. 16190/j. cnki. 45-1211/r. 2021. 09. 026.
- Li N, Tang YJ, Jiang LZ. Analysis of the causes of intraocular lens replacement after implantable collamer lens implantation[J]. J Guangxi Med Univ, 2021, 38(9): 1791-1794. DOI: 10. 16190/j. cnki. 45-1211/r. 2021. 09. 026.
- [39] 童奇湖, 任未娜, 吴宇霏, 等. EVO-ICL 植入术后眼前节形态的变化与安全性分析[J]. 现代实用医学, 2020, 32(6): 685-687. DOI: 10. 3969/j. issn. 1671-0800. 2020. 06. 040.
- [40] Wan T, Yin H, Yang Y, et al. Comparative study of anterior segment measurements using 3 different instruments in myopic patients after ICL implantation[J]. BMC Ophthalmol, 2019, 19(1): 182. DOI: 10. 1186/s12886-019-1194-y.
- [41] Sánchez-González JM, Alonso-Aliste F, Perea-Peña G, et al. Anterior chamber angle width, central vault and intraocular pressure changes after 12 months of Visian collamer lens implantation[J]. Int Ophthalmol, 2020, 40(8): 2047-2053. DOI: 10. 1007/s10792-020-01381-w.
- [42] Lim DH, Lee MG, Chung ES, et al. Clinical results of posterior chamber phakic intraocular lens implantation in eyes with low anterior chamber depth[J]. Am J Ophthalmol, 2014, 158(3): 447-454. DOI: 10. 1016/j. ajo. 2014. 06. 005.
- [43] Nonpassopon M, Jongkhajornpong P, Phimpho P, et al. Agreement of implantable collamer lens sizes using parameters from different devices [J/OL]. BMJ Open Ophthalmol, 2022, 7(1): e000941 [2025-04-11]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35372697/>. DOI: 10. 1136/bmjophth-2021-000941.
- [44] Gao J, Liao RF, Li N. Ciliary sulcus diameters at different anterior chamber depths in highly myopic eyes[J]. J Cataract Refract Surg, 2013, 39(7): 1011-1016. DOI: 10. 1016/j. jcrs. 2013. 01. 040.
- [45] Li X, Wang M, Dong W, et al. Anterior segment structure changes caused by different luminance light after implantable collamer lens surgery[J]. BMC Ophthalmol, 2023, 23(1): 281. DOI: 10. 1186/s12886-023-03014-z.
- [46] Kumar M, Shetty R, Jayadev C, et al. Repeatability and agreement of five imaging systems for measuring anterior segment parameters in healthy eyes[J]. Indian J Ophthalmol, 2017, 65(4): 288-294. DOI: 10. 4103/ijo. IJO_729_16.
- [47] Lee H, Kang DS, Ha BJ, et al. Effect of accommodation on vaulting and movement of posterior chamber phakic lenses in eyes with implantable collamer lenses[J]. Am J Ophthalmol, 2015, 160(4): 710-716. DOI: 10. 1016/j. ajo. 2015. 07. 014.
- [48] Baikoff G. Anterior segment OCT and phakic intraocular lenses: a perspective[J]. J Cataract Refract Surg, 2006, 32(11): 1827-1835. DOI: 10. 1016/j. jcrs. 2006. 08. 025.
- [49] 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]. J Refract Surg, 2019, 35(3): 177-183. DOI: 10. 3928/1081597X-20190204-01.
- [50] 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[J]. Eye Vis (Lond), 2021, 8(1): 26. DOI: 10. 1186/s40662-021-00250-6.
- [51] Atchison DA, Markwell EL, Kasthurirangan S, et al. Age-related changes in optical and biometric characteristics of emmetropic eyes[J]. J Vis, 2008, 8(4): 29. 1-20. DOI: 10. 1167/8. 4. 29.
- [52] Du J, Zhou W, Zhao T, et al. Efficacy and safety of implantable collamer lens V4c implantation in 1,834 myopic eyes for 1 year of follow-up[J]. J Refract Surg, 2023, 39(10): 694-704. DOI: 10. 3928/1081597X-20230908-02.
- [53] Tañá-Rivero P, Pastor-Pascual F, Crespo M, et al. Posterior-chamber phakic intraocular lens implantation in patients over 40 years of age[J]. J Ophthalmol, 2020, 2020: 7457902. DOI: 10. 1155/2020/7457902.
- [54] Chen X, Ye Y, Yao H, et al. Predicting post-operative vault and optimal implantable collamer lens size using machine learning based on various ophthalmic device combinations[J]. Biomed Eng Online, 2023, 22(1): 59. DOI: 10. 1186/s12938-023-01123-w.
- [55] 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[J]. Am J Ophthalmol, 2016, 161: 116-125. DOI: 10. 1016/j. ajo. 2015. 09. 037.
- [56] 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]. J Refract Surg, 2022, 38(5): 272-279. DOI: 10. 3928/1081597X-20220302-01.
- [57] Yiming Y, Xi C, Huan Y, et al. Evaluation of ciliary body morphology and position of the implantable collamer lens in low-vault eyes using ultrasound biomicroscopy[J]. J Cataract Refract Surg, 2023, 49(11): 1133-1139. DOI: 10. 1097/j. jcrs. 0000000000001285.
- [58] 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[J]. Front Med (Lausanne), 2022, 9: 906433. DOI: 10. 3389/fmed. 2022. 906433.
- [59] Khan MA, Tan Q, Sun W, et al. Prediction of excessively low vault after implantable collamer lens implantation using iris morphology[J]. Front Med (Lausanne), 2022, 9: 1029350. DOI: 10. 3389/fmed. 2022. 1029350.

(收稿日期: 2025-05-20 修回日期: 2025-11-03)

(本文编辑: 刘艳 施晓萌)

