

近视患者晶状体参数与眼部解剖特征参数的关系

张菊¹, 余鹏², 李青³

引用:张菊,余鹏,李青. 近视患者晶状体参数与眼部解剖特征参数的关系. 国际眼科杂志, 2024,24(7):1043-1051.

作者单位:¹(201100)中国上海市,上海百汇医院眼科;
²(214002)中国江苏省无锡市,无锡华夏眼科医院;³(200050)中国上海市,上海普瑞眼科医院

作者简介:张菊,毕业于山东大学,硕士,主治医师,研究方向:屈光手术、斜弱视。

通讯作者:余鹏,毕业于温州医科大学,硕士,主治医师,屈光中心主任,研究方向:屈光手术. eyeyupeng@163.com;李青,毕业于青岛大学,硕士,主治医师,屈光中心主任,研究方向:屈光手术. yankeliqing@126.com

收稿日期:2024-01-29 修回日期:2024-05-31

摘要

目的:了解行有晶状体眼后房型人工晶状体植入术的近视患者晶状体参数与其眼部解剖特征参数的关系。

方法:回顾性研究。收集2022-06/2023-06在无锡华夏眼科医院行有晶状体眼后房型人工晶状体植入术的近视患者46例46眼。术前评估眼部解剖特征参数包括角膜中央厚度(CCT)、前房深度(ACD)、眼轴长度(AL)等前后径,水平角膜直径(WTW)、水平沟到沟直径(STS_H)、水平角到角直径(ATA_H)等水平径,以及垂直沟到沟直径(STS_V)、垂直角到角直径(ATA_V)等垂直径,晶状体参数包括水平晶状体矢高(CLR_H)、垂直晶状体矢高(CLR_V)、水平晶状体厚度(LT_H)、垂直晶状体厚度(LT_V),并分析上述参数的差异性、一致性及相关性。

结果:除WTW与STS_V、STS_H与ATA_V无显著差异(均 $P>0.05$)外,其余水平径与垂直径眼部解剖特征参数均有差异($P<0.05$);CLR_H与CLR_V有显著差异($P<0.01$),但LT_H与LT_V无差异($P>0.05$)。Bland-Altman一致性分析结果显示,水平径、垂直径眼部解剖特征参数一致性较差;CLR_H与CLR_V一致性较差;LT_H与LT_V一致性较好,其差值的95%一致性界限(LoA)为 $-0.21-0.28$ mm,95% LoA线外点比例为4.35%。Pearson相关性分析结果显示,水平径与垂直径眼部解剖特征参数间均有相关性($P<0.01$),前后径参数均无相关性($P>0.05$);除CLR_H与LT_H、LT_V无相关性外,其余晶状体参数均有相关性($P<0.05$);AL与水平径和垂直径眼部解剖特征参数均具有相关性($P<0.05$),但与晶状体参数均无相关性($P>0.05$)。多元线性回归分析显示, $LT=0.419+0.017\times\text{年龄}-0.548\times\text{ACD}+0.371\times\text{ATA}_H+0.884\times\text{CLR}_V$, $CLR_H=-0.443+0.809\times\text{CLR}_V$, $CLR_V=-0.092-0.200\times\text{ATA}_H+0.560\times\text{CLR}_H$ (校正 $R^2=0.458,0.482,0.589$)。

结论:水平径、垂直径眼部解剖特征参数不可互相替代;

CLR_H、CLR_V不可互相替代,而LT_H、LT_V可互相替代。部分晶状体参数、WTW、STS、ATA与ACD相关,而年龄、ACD、ATA_H、CLR_V是LT的影响因素。

关键词:近视;晶状体参数;眼部解剖特征;ICL;前房深度

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2024.7.07

Relationship between lens parameters and ocular anatomical characteristics in myopia patients

Zhang Ju¹, Yu Peng², Li Qing³

¹Department of Ophthalmology, Shanghai Baihui Hospital, Shanghai 201100, China; ²Wuxi Huaxia Eye Hospital, Wuxi 214002, Jiangsu Province, China; ³Shanghai Bright Eye Hospital, Shanghai 200050, China

Correspondence to: Yu Peng. Wuxi Huaxia Eye Hospital, Wuxi 214002, Jiangsu Province, China. eyeyupeng@163.com; Li Qing. Shanghai Bright Eye Hospital, Shanghai 200050, China. yankeliqing@126.com

Received:2024-01-29 Accepted:2024-05-31

Abstract

• **AIM:** To investigate the relationship among lens parameters and their correlation with ocular anatomic characteristics in myopia patients implanted with posterior-chamber phakic implantable collamer lens (Phakic-ICL).

• **METHODS:** Retrospective study. A total of 46 myopia patients (46 eyes) who underwent Phakic-ICL implantation were collected in the Wuxi Huaxia Eye Hospital from June 2022 to June 2023. Preoperative evaluation of ocular anatomical characteristics included corneal central thickness (CCT), anterior chamber depth (ACD), axial length (AL), white-to-white (WTW), horizontal sulcus to sulcus (STS_H), horizontal angle to angle (ATA_H), and vertical sulcus to sulcus (STS_V), vertical angle to angle (ATA_V). Furthermore, lens parameters included horizontal crystalline lens rise (CLR_H), vertical CLR (CLR_V) and vertical lens thickness (LT_V). The difference, consistency and correlation of the above parameters were analyzed.

• **RESULTS:** Except for differences between WTW and STS_V, STS_H and ATA_V, which were not statistically significant (all $P>0.05$), the other horizontal and vertical ocular anatomical characteristics were statistically significant ($P<0.05$). CLR_H and CLR_V had statistically

significant difference ($P < 0.01$), while LT_H and LT_V were not statistically significant difference ($P > 0.05$). Bland-Altman results revealed that the anatomical characteristics in the horizontal or vertical diameters showed poor consistency. The consistency between CLR_H and CLR_V was poor. There was consistency between LT_H and LT_V , with the 95% limits of agreement (LoA) between the differences ranging from -0.21 to 0.28 mm, and the proportion of out-of-line points off the 95% LoA was 4.35%. Pearson correlation analysis revealed that there were correlations between the anatomical characteristics of the horizontal and vertical diameters ($P < 0.01$). Meanwhile, there was no correlation between the anteroposterior diameters ($P > 0.05$). There were correlations between the lens parameters ($P < 0.05$), excepted for the CLR_H , LT_H and LT_V , which had no correlation. AL correlated with the anatomical characteristics of the horizontal and vertical diameters ($P < 0.05$), but it had no correlation with lens parameters ($P > 0.05$). Multiple linear regression analysis revealed that $LT = 0.419 + 0.017 \times \text{age} - 0.548 \times \text{ACD} + 0.371 \times \text{ATA}_H + 0.884 \times \text{CLR}_V$, $CLR_H = -0.443 + 0.809 \times \text{CLR}_V$, $CLR_V = -0.092 - 0.200 \times \text{ATA}_H + 0.560 \times \text{CLR}_H$ (corrected $R^2 = 0.458, 0.482, 0.589$, respectively).

• **CONCLUSION:** Horizontal and vertical diameters were not interchangeable. CLR_H and CLR_V were not interchangeable, while LT_H and LT_V were interchangeable. Partial lens parameters, WTW, STS, and ATA were correlated with ACD. Finally, age, ACD, ATA_H , and CLR_V influenced LT.

• **KEYWORDS:** myopia; lens parameters; ocular anatomical characteristics; implantable collamer lens (ICL); anterior chamber depth

Citation: Zhang J, Yu P, Li Q. Relationship between lens parameters and ocular anatomical characteristics in myopia patients. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2024, 24(7): 1043-1051.

0 引言

随着近视患者对视远需求的增加,越来越多的患者选择摘镜,其中有晶状体眼后房型人工晶状体植入术 (posterior-chamber phakic implantable collamer lens, Phakic-ICL) 成为了主流方式之一。经临床验证 ICL (implantable collamer lens) 手术是一类有效、安全、稳定且可逆的近视矫正方案^[1-3]。但 ICL 及 TICL (Toric posterior-chamber phakic implantable collamer lens) 术后仍然存在部分未解决的问题,常见问题包括 ICL 晶状体尺寸异常导致的拱高不适当, ICL 拱高 (vault) 是指 ICL 光学区后表面中心与自身晶状体前表面顶点的垂直高度^[4]。拱高异常包括拱高偏高或拱高偏低,拱高偏高则 ICL 摩擦虹膜致虹膜萎缩、色素播散,或挤压房角诱发闭角型青光眼^[5];拱高偏低可能导致 ICL 旋转,必要时需再次调整^[6-7],也可能影响房水循环或接触患者自身晶状体,诱发白内障的形成^[8]。

ICL 拱高异常与许多因素有关,目前越来越多的研究发现 ICL 拱高异常与其放置于后房角的睫状沟密切相关^[9-10],其中低拱高与晶状体厚度 (lens thickness, LT) 或晶状体矢高 (crystalline lens rise, CLR) 有关^[11-13]。现临床主流定制 ICL 尺寸方法通常为参照水平角膜直径 (white to white, WTW) 并辅助睫状沟直径 (sulcus to sulcus, STS) 或角到角直径 (angle to angle, ATA)^[14-15] 进行确认。但目前尚无研究分析上述水平径、垂直径及前房深度 (anterior chamber depth, ACD)、眼轴长度 (axial length, AL) 眼部前后径等眼部解剖特征参数与晶状体相关参数的关系,本研究旨在分析上述特征性眼部生物解剖参数的关系。

1 对象和方法

1.1 对象 回顾性研究。选取 2022-06/2023-06 于无锡华夏眼科医院择期行有晶状体眼后房型人工晶状体 (ICL/TICL, V4c) 植入术的近视患者 46 例 46 眼 (应用 Excel 随机选取一眼数据进行分析), 年龄 18-41 (平均 28.0 ± 6.0) 岁,其中女 30 例 (65%),男 16 例 (35%)。纳入标准:(1) 年龄 18-50 岁;(2) 近 2 a 内屈光度稳定 (增长不超过 -1.00 D);(3) 术前前房深度 ≥ 2.8 mm;(4) 术前停止配戴软性角膜接触镜 1 wk、硬性角膜接触镜 1 mo、角膜塑形镜戴 3 mo。排除标准:(1) 患有严重的精神、心理疾病患者;(2) 术前角膜内皮细胞计数 < 2000 cell/mm²;(3) 合并青光眼、视网膜及黄斑病变者;(4) 妊娠期或哺乳期女性;(5) 存在全身或眼部炎症疾病、免疫疾病、结缔组织病等。本研究遵守《赫尔辛基宣言》原则,经无锡华夏眼科医院伦理委员会批准通过 (伦理批号: WXHX-202205)。纳入患者均对手术方案知情同意,并签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 眼部常规检查 术前收集患者病史,并进行眼部常规检查,包括裸眼视力 (UCVA)、最佳矫正视力 (BCVA)、电脑验光、主觉验光、非接触式眼内压 (intraocular pressure, IOP)、裂隙灯检查、眼底检查、角膜内皮细胞计数等检查,并根据主觉验光结果计算等效球镜度 (spherical equivalent, SE), $SE = \text{球镜} + \text{柱镜}/2$ 。

1.2.2 眼前节分析系统检查 采用 Sirius 眼前节分析系统于半暗室内对患者进行坐位检查,检查时先固定头位,嘱患者眨眼数次后进行测量,当采集质量 (包括覆盖率、可信度及角膜中心定位) 均正常时方合格。检查项目包括使用双眼水平可见虹膜直径 (horizontal visible iris diameter, HVID) 记录 WTW、平坦轴曲率 (K_f)、陡峭轴曲率 (K_s)、角膜中央厚度 (central corneal thickness, CCT) 及 ACD。每眼测量 3 次且选取测量质量最佳的 1 次纳入本研究。检查均由同一名经验丰富的技师独立完成。

1.2.3 光学相干生物测量仪检查 采用光学相干生物测量仪 (IOL Master 500) 测量 AL,于同一室内对患者进行坐位检查,测量时嘱患者注视固视点,每次测量以绿灯显示为合格。每眼测量 3 次取平均值。检查均由同一名经验丰富的技师独立完成。

1.2.4 超声生物显微镜检查 采用 50 MHz 超声生物显微镜 (ultrasound biomicroscopy, UBM) 测量患者水平沟到沟直

径(STS_H)、垂直沟到沟直径(STS_V)、水平角到角直径(ATA_H)、垂直到角直径(ATA_V)等眼部解剖特征参数以及水平晶状体矢高(CLR_H)、垂直晶状体矢高(CLR_V)、水平晶状体厚度(LT_H)、垂直晶状体厚度(LT_V)等晶状体参数。测量方法^[16]:患者于标准照明室内取仰卧位,眼表面麻醉2-3次,选择合适型号眼杯盛入适量生理盐水,使用UBM探头进行测量,测量后得到质量较好的不同方向径线的眼前节全景图像,再使用该仪器自带软件测量上述参数,每眼测量2次取平均值,其中STS为测量睫状沟最远端距离的连线;ATA为测量两虹膜角膜夹角连线;CLR为测量晶状体前极顶点到STS之间的距离;LT为测量晶状体前表面中心到晶状体后表面中心的距离,见图1。检查均由同一名经验丰富的技师独立完成。

统计学分析:本研究数据分析使用SPSS v26.0统计软件。使用S-W检验对计量资料进行正态性检验,符合正态分布的计量资料使用 $\bar{x} \pm s$ 描述,采用单因素方差分析及LSD-t检验分析WTW、STS及ATA不同轴向径线直径的差异,采用配对样本t检验分析 CLR_H 与 CLR_V 、 LT_H 与 LT_V 的差异。绘制Bland-Altman图分析各参数的一致性,根据ICL尺寸选择的临床经验,眼部解剖特征参数间的95%一致性界限(limits of agreement, LoA)上下限绝对值 >0.5 mm被认为在临床上是不可接受的。采用Pearson相关分析法分析各参数的相关性,其中 $0.70 < r < 0.90$ 表示强

相关性, $0.30 < r < 0.70$ 表示中度相关性。采用多元线性回归分析晶状体参数与眼部解剖特征参数的关系。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 纳入患者眼部参数 纳入患者眼部解剖特征参数表现出 $STS_V > WTW > ATA_V > STS_H > ATA_H$ 的集中描述趋势,而晶状体参数CLR垂直径大于水平径,LT两轴向径线数据则较接近,见表1。

2.2 眼部参数的差异性 纳入患者WTW与STS、ATA水平径和垂直径差异存在统计学意义($F = 14.909, P < 0.01$),进一步两两比较,除WTW与 STS_V 、 STS_H 与 ATA_V 差异无统计学意义($P = 0.375, 0.965$),其余差异均有统计学意义($P < 0.05$),见图2。纳入患者 CLR_H 与 CLR_V 差异存在统计学意义($t = -5.554, P < 0.01$); LT_H 与 LT_V 差异无统计学意义($t = 1.757, P = 0.086$),见图3。

2.3 眼部参数的一致性 Bland-Altman一致性分析结果显示,纳入患者WTW与STS、ATA水平径和垂直径差值的均值明显偏离0,且95%LoA在临床上是不能接受的,其线外点比例见表2,故上述参数的一致性较差,见图4、5;晶状体参数 CLR_H 与 CLR_V 一致性较差,而 LT_H 与 LT_V 差值的均值接近于0,其95%LoA在临床可接受范围,一致性界外点比例 $< 5\%$,故 LT_H 与 LT_V 一致性较好,见图6,临床上可互相替代。

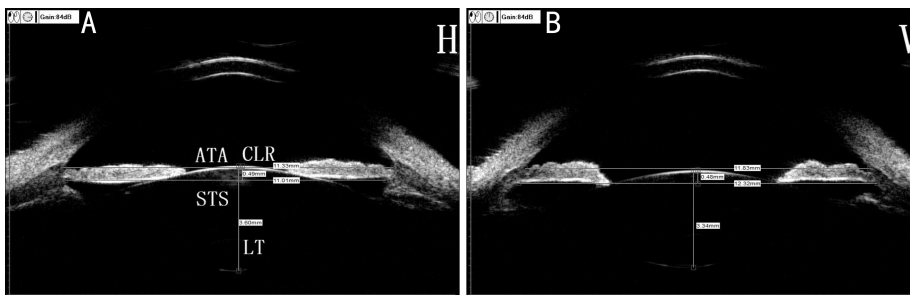


图1 同一患者采用UBM测量眼部解剖特征参数和晶状体参数示意图 A:水平径;B:垂直径。

表1 纳入患者眼部参数

| 参数 | $\bar{x} \pm s$ | 95%CI | 最小值 | 最大值 |
|---------------|-----------------|---------------|--------|--------|
| IOP(mmHg) | 14.05±2.66 | 13.27-14.84 | 9.30 | 20.70 |
| SE(D) | -8.27±2.16 | -8.91--7.63 | -3.75 | -11.50 |
| K_t (D) | 43.40±1.27 | 43.02-43.77 | 41.41 | 47.19 |
| K_s (D) | 44.82±1.40 | 44.41-45.24 | 42.70 | 48.37 |
| CCT(μ m) | 512.13±31.50 | 502.78-521.48 | 451.00 | 601.00 |
| ACD(mm) | 3.31±0.25 | 3.23-3.38 | 2.84 | 3.80 |
| AL(mm) | 26.43±1.11 | 26.10-26.76 | 23.13 | 28.28 |
| WTW(mm) | 11.78±0.39 | 11.66-11.90 | 10.83 | 12.40 |
| STS_H (mm) | 11.40±0.50 | 11.25-11.55 | 10.34 | 12.40 |
| STS_V (mm) | 11.88±0.67 | 11.68-12.08 | 9.23 | 13.07 |
| ATA_H (mm) | 11.15±0.45 | 11.02-11.29 | 10.19 | 12.25 |
| ATA_V (mm) | 11.41±0.57 | 11.24-11.57 | 10.00 | 12.69 |
| CLR_H (mm) | 0.52±0.21 | 0.46-0.58 | 0.08 | 1.03 |
| CLR_V (mm) | 0.64±0.19 | 0.58-0.70 | 0.30 | 1.17 |
| LT_H (mm) | 3.64±0.31 | 3.54-3.73 | 2.99 | 4.33 |
| LT_V (mm) | 3.60±0.30 | 3.51-3.69 | 2.92 | 4.15 |

注:95%CI表示95%置信区间。

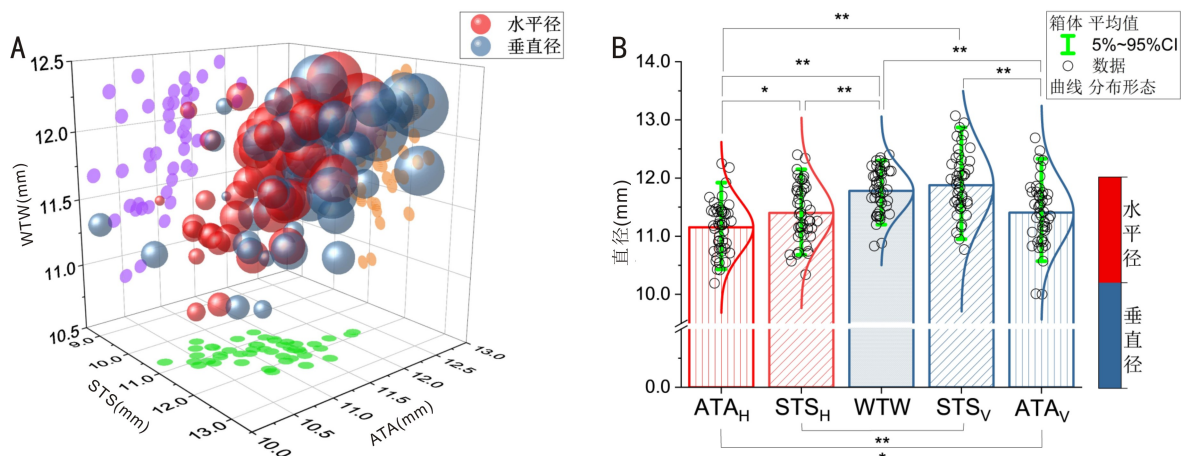


图2 眼部解剖特征参数的差异性 A: WTW 和 STS 及 ATA 不同轴位 3D 气泡图; B: WTW 和 STS 及 ATA 不同轴位差异图, * $P<0.05$; ** $P<0.01$ 。

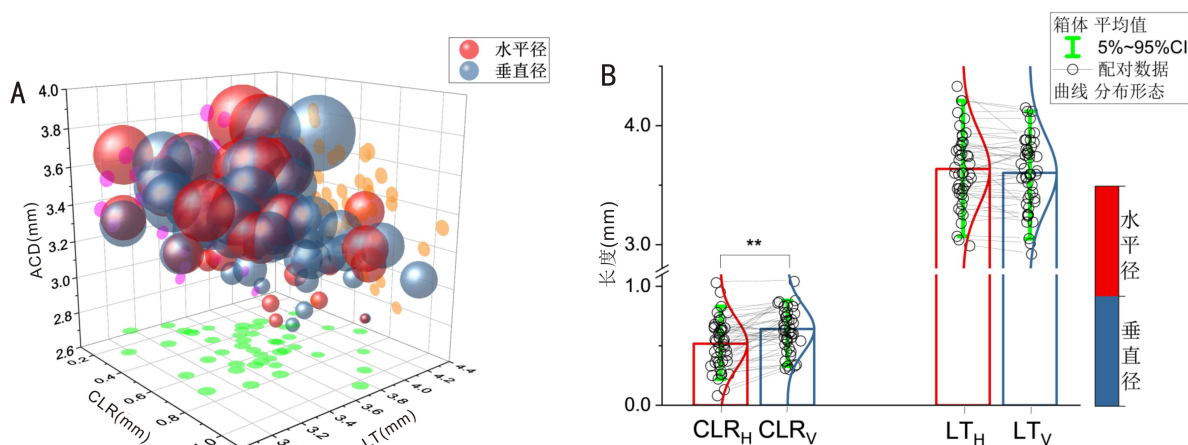


图3 晶状体参数的差异图 A: 晶状体参数不同轴位 3D 气泡图; B: 晶状体参数不同轴位差异图, ** $P<0.01$ 。

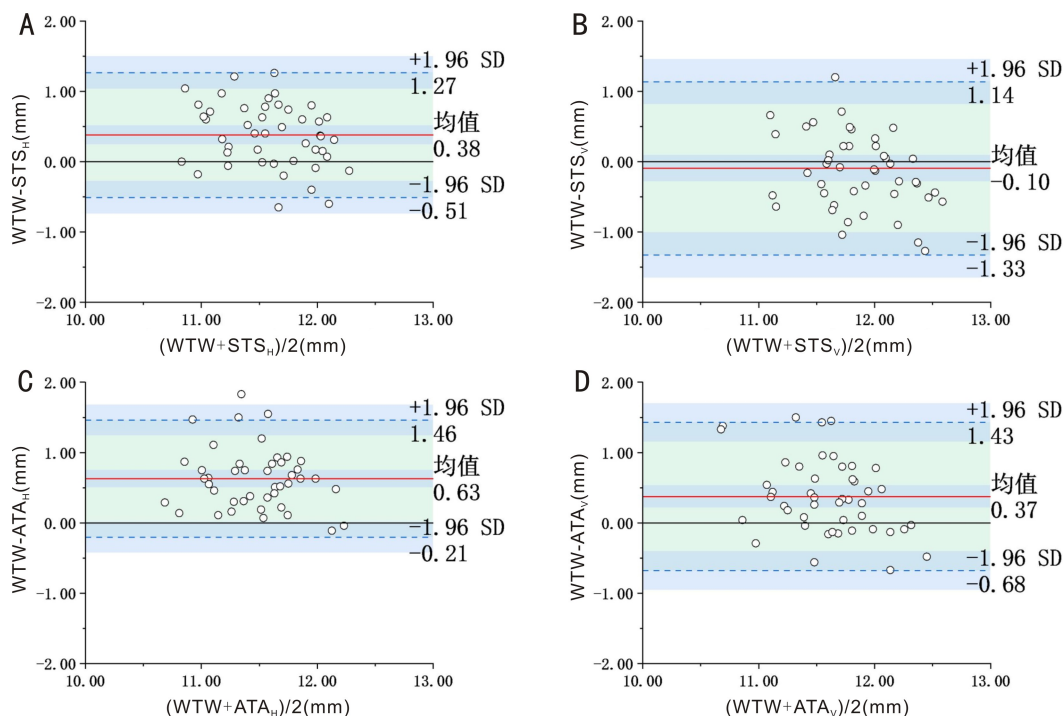


图4 WTW 与 STS 和 ATA 的 Bland-Altman 一致性分析图 A: WTW 与 STS_H; B: WTW 与 STS_V; C: WTW 与 ATA_H; D: WTW 与 ATA_V。

2.4 眼部参数的相关性 Pearson 相关性分析结果显示,眼部解剖特征参数中水平和垂直径参数间均存在相关性(图7红色虚框),其中 STS_H与 STS_V、ATA_H与 ATA_V具有强

相关性($r=0.780, 0.736$, 均 $P<0.001$),其余参数均呈中度相关性;晶状体参数相关性也较为集中(图7蓝色虚框),其中 CLR_H与 CLR_V、LT_H与 LT_V具有强相关性($r=0.718$ 、

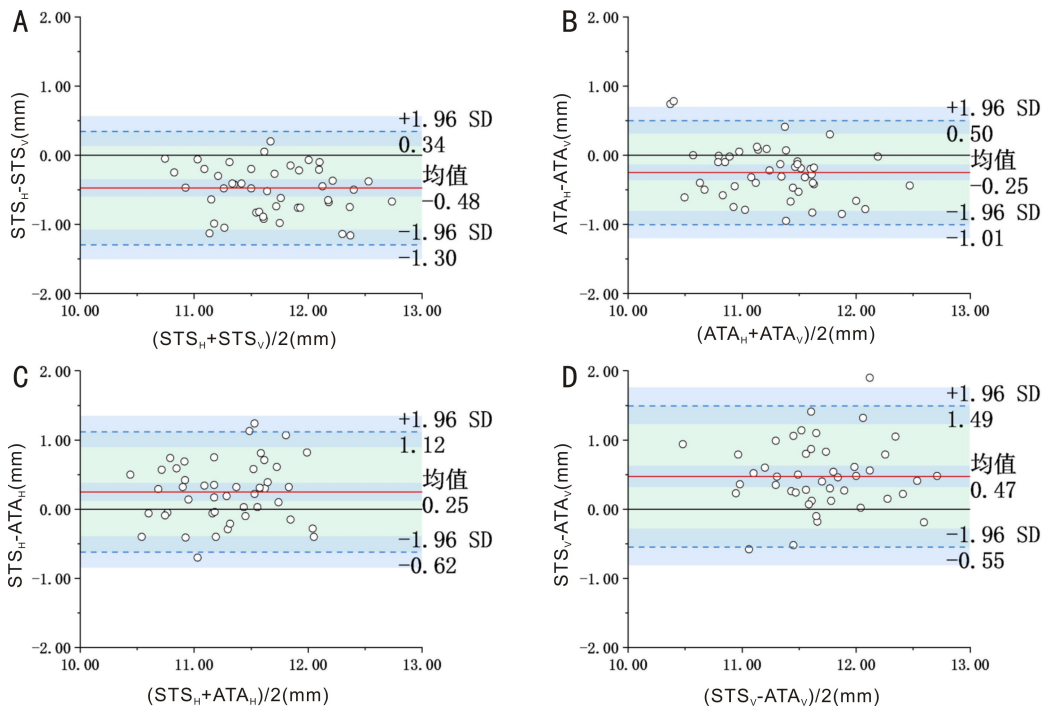


图5 STS和ATA的Bland-Altman一致性分析图 A:STS_H与STS_V;B:ATA_H与ATA_V;C:STS_H与ATA_H;D:STS_V与ATA_V。

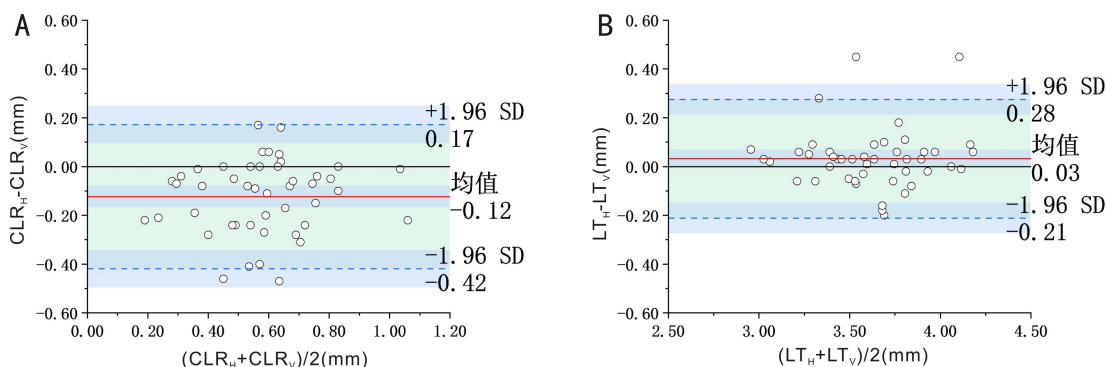


图6 晶状体参数的Bland-Altman一致性分析图 A:CLR_H与CLR_V;B:LT_H与LT_V。

表2 眼部参数的一致性分析

| 参数 | 差值的均值(mm) | 最大差值(mm) | 95%LoA(mm) | 一致性界外点比例(%) |
|------------------------------------|-----------|----------|------------|-------------|
| WTW-STSH | 0.38 | 1.26 | -0.51-1.27 | 4.35 |
| WTW-STSV | -0.10 | 2.15 | -1.33-1.14 | 4.35 |
| WTW-ATAH | 0.63 | 1.83 | -0.21-1.46 | 8.70 |
| WTW-ATAV | 0.37 | 1.50 | -0.68-1.43 | 6.52 |
| STSH-STSV | -0.48 | -1.16 | -1.30-0.34 | 2.17 |
| ATAH-ATAV | -0.25 | -0.95 | -1.01-0.50 | 4.35 |
| STSH-ATAH | 0.25 | 1.24 | -0.62-1.12 | 6.52 |
| STSV-ATAV | 0.47 | 1.90 | -0.55-1.49 | 6.52 |
| CLR _H -CLR _V | -0.12 | -0.47 | -0.42-0.17 | 4.35 |
| LT _H -LT _V | 0.03 | 0.45 | -0.21-0.28 | 4.35 |

0.918,均 $P < 0.001$);前后径参数无明显相关性(图7绿色虚框),其中ACD、AL与眼部水平和垂直径参数均存在相关性,且ACD与晶状体参数存在相关性(图7红色垂直实线),见表3。

2.5 晶状体参数的多元线性回归分析 因水平和垂直轴位LT差异无统计学意义,且一致性较好,故采用两轴位LT平均值进行多元线性回归分析,回归方程: $LT = 0.419 + 0.017 \times \text{年龄} - 0.548 \times \text{ACD} + 0.371 \times \text{ATA}_H + 0.884 \times \text{CLR}_V$;

$\text{CLR}_H = -0.443 + 0.809 \times \text{CLR}_V$; $\text{CLR}_V = -0.092 - 0.200 \times \text{ATA}_H + 0.560 \times \text{CLR}_H$,见表4。

3 讨论

有晶状体眼后房型人工晶状体植入术前ICL晶状体尺寸选择方案莫衷一是,早期使用WTW结合ACD选择^[17],然而约31%患者出现了术后拱高异常^[18];随着眼部断层成像技术的应用,有研究使用ATA选择ICL尺寸,发现ATA对拱高的预测有关键性作用^[14-15,19-21];目前也有

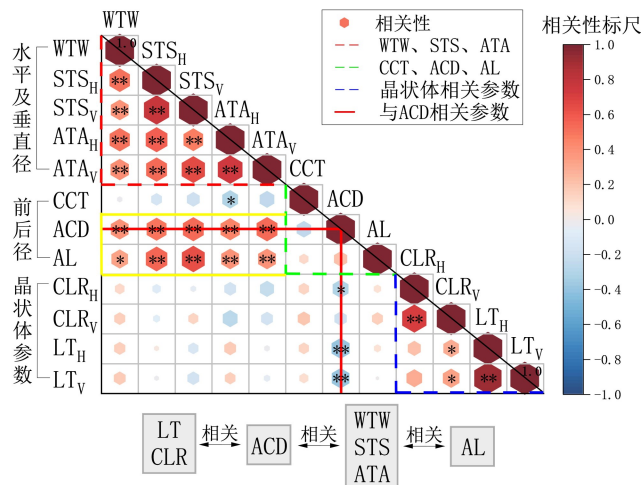


图7 眼部解剖特征参数的相关图 * $P<0.05$, ** $P<0.01$ 。

表3 眼部参数的相关性

| 参数 | 水平和垂直直径 | | | | | 晶状体参数 | | | |
|------------------|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | WTW | STS _H | STS _V | ATA _H | ATA _V | CLR _H | CLR _V | LT _H | LT _V |
| 前后径 | | | | | | | | | |
| CCT | -0.036 | -0.144 | -0.197 | -0.304 * | -0.259 | 0.130 | 0.183 | 0.126 | 0.099 |
| ACD | 0.387 ** | 0.482 ** | 0.527 ** | 0.451 ** | 0.536 ** | -0.309 * | -0.190 | -0.394 ** | -0.381 ** |
| AL | 0.335 ** | 0.557 ** | 0.639 ** | 0.383 ** | 0.387 ** | 0.067 | 0.149 | 0.061 | -0.015 |
| 水平和垂直直径 | | | | | | | | | |
| WTW | | 0.512 ** | 0.388 ** | 0.501 ** | 0.417 ** | 0.114 | 0.149 | 0.153 | 0.168 |
| STS _H | 0.512 ** | | 0.780 ** | 0.572 ** | 0.540 ** | -0.087 | -0.060 | 0.030 | -0.028 |
| STS _V | 0.388 ** | 0.780 ** | | 0.473 ** | 0.654 ** | -0.042 | 0.121 | -0.123 | -0.168 |
| ATA _H | 0.501 ** | 0.572 ** | 0.473 ** | | 0.736 ** | -0.169 | -0.267 | 0.170 | 0.140 |
| ATA _V | 0.417 ** | 0.540 ** | 0.654 ** | 0.736 ** | | -0.238 | -0.170 | -0.037 | -0.048 |
| 晶状体参数 | | | | | | | | | |
| CLR _H | 0.114 | -0.087 | -0.042 | -0.169 | -0.238 | | 0.718 ** | 0.209 | 0.290 |
| CLR _V | 0.149 | -0.060 | 0.121 | -0.267 | -0.170 | 0.718 ** | | 0.291 * | 0.333 * |
| LT _H | 0.153 | 0.030 | -0.123 | 0.170 | -0.037 | 0.209 | 0.291 * | | 0.918 ** |
| LT _V | 0.168 | -0.028 | -0.168 | 0.140 | -0.048 | 0.290 | 0.333 * | 0.918 ** | |

注: * $P<0.05$, ** $P<0.01$ 。

表4 晶状体参数多元线性回归分析

| 因变量 | 常数 | 自变量 | β | t | P | VIF | R^2 | 校正 R^2 |
|------------------|--------|------------------|---------|--------|--------|-------|-------|----------|
| LT | 0.419 | 年龄 | 0.017 | 2.693 | 0.011 | 1.287 | 0.590 | 0.458 |
| | | ACD | -0.548 | -3.070 | 0.004 | 1.905 | | |
| | | ATA _H | 0.371 | 2.784 | 0.009 | 3.329 | | |
| | | CLR _V | 0.884 | 3.097 | 0.004 | 2.802 | | |
| CLR _H | -0.443 | CLR _V | 0.809 | 4.897 | <0.001 | 2.067 | 0.666 | 0.482 |
| CLR _V | -0.092 | ATA _H | -0.200 | -2.536 | 0.017 | 3.707 | 0.735 | 0.589 |
| | | CLR _H | 0.560 | 4.897 | <0.001 | 1.639 | | |

注: VIF 表示方差膨胀系数; R^2 表示决定系数。

研究将 STS 作为选择 ICL 尺寸及预测拱高的重要参数^[22]; 另有研究发现, 拱高与 LT 及 CLR 等晶状体参数有关^[11-13, 23]。既然上述参数及根据其选择后的 ICL 晶状体尺寸均与 ICL 术后拱高有关, 因此了解上述眼部解剖特征参数与晶状体参数间的相互关系显得至关重要。

眼部解剖特征参数的获取往往无法兼顾, 目前对于 STS 的测量仅能通过 UBM 获取, 此方法对检查技师的操

作要求较高, 且以往研究均未在同一患者检查图像中同时测量 ATA。而使用前节光学相干断层扫描成像 (OCT) 虽能获得 ATA^[21], 但无法准确获得 STS。Li 等^[24]发现 UBM 与扫频源光学相干断层扫描成像 (SS-OCT) 对眼前节参数测量中 ATA 的一致性较差, 该研究中 UBM 所测量 ATA 较 SS-OCT 平均大 0.32 mm。因此在同一设备中测量上述眼部解剖特征参数尤为重要, 本研究首次使用 UBM 对

ATA 及 STS 进行同时测量,并系统化地将眼部解剖特征参数 STS、ATA 及晶状体参数 LT、CLR 分为水平径、垂直径进行研究。本研究发现,眼部解剖特征参数表现出 $STS_V > WTW > ATA_V > STS_H > ATA_H$ 的现象,即同一个解剖特征参数中垂直径 > 水平径,这与 Dong 等^[14] 研究类似,但该研究中并未直接测量 STS,而是使用前节 OCT 测量前房宽度 (anterior chamber width) 来代替 STS。在上述眼部解剖特征参数中,除 STS_V 与 WTW 、 STS_H 与 ATA_V 差异无统计学意义,其余眼部解剖特征参数差异均有统计学意义,结合眼部解剖特征参数的一致性均较差,故提示临床上以上参数不能直接互相替换使用。如使用 WTW 选择水平放置的 ICL 晶状体尺寸时,因 $WTW > STS_H$ 可能选择大一号的 ICL 晶状体置于偏小的 STS_H 中,从而导致拱高的发生,这符合 Lee 等^[25] 提出的水平轴向 ICL 晶状体尺寸大于 WTW 或 STS 时产生的压缩 (horizontal compression, HC) 导致的拱高偏高的情况。

本研究发现,晶状体参数 CLR_H 与 CLR_V 差异存在统计学意义且一致性较差,不能互相替换,但目前 STAAR 公司可提供垂直放置的 ICL 晶状体,而以往研究^[15] 通常使用 ATA_H 与 CLR_H 预测水平 ICL 晶状体的术后拱高,因此本研究建议使用垂直径参数综合预测垂直放置 ICL 晶状体的拱高;而 LT_H 与 LT_V 差异无统计学意义且一致性较好, LT_H 与 LT_V 的 Bland - Altman 一致性图示其差值的均值为 0.03 mm,接近于 0,且 95%LoA 为 -0.21-0.28 mm,均未超过 0.3 mm,95%LoA 线外点比例为 4.35%,小于 5%,因此在没有临床金标准的情况下,可认为一致性较好,能够互相替换。上述结果提示,LT 水平方向及垂直方向变异较小,该晶状体参数更稳定,更适合临床应用,且 LT 易于通过 UBM 或 IOL Master 等仪器获取。在 LT 不同轴位差异较小的情况下, CLR_H 与 CLR_V 之间却存在显著差异,考虑晶状体前表面的隆起程度可能与晶状体散光及瞳孔的垂直、水平直径大小等因素有关。Khanani 等^[26] 发现,暗环境下瞳孔垂直径大于水平径,这为 CLR_V 的前突提供了部分理论基础,但该研究暂未考虑瞳孔直径、晶状体前表面曲率、LT 与 CLR 之间的关系,需在后续研究中进一步补充。

本研究通过 Pearson 相关性分析可知,水平径、垂直径眼部解剖特征参数均存在相关性 (图 7 红色三角虚线框);前后径参数无相关性 (图 7 绿色三角虚线框);而晶状体参数 CLR_H 与 LT 无相关性,其余均有相关性 (图 7 蓝色三角虚线框);晶状体参数与 ACD 存在相关性 (图 7 红色垂直实线);ACD 与水平径、垂直径眼部解剖特征参数存在相关性 (图 7 红色实线);水平径、垂直径眼部解剖特征参数与 AL 存在相关性。但相关性不等于因果关系,因此对晶状体参数 LT 进行多元线性回归分析,提示年龄、ACD、 ATA_H 、 CLR_V 均是 LT 的决定性因素。由此可见,晶状体参数并不直接与所有眼部解剖特征参数发生关联,而是通过 ACD 与之产生联系,因此 ACD 是连接水平径、垂直径与晶状体参数的关键参数 (图 7 红色实线),这是同类研究的首次发现。Gao 等^[27] 研究通过将 ACD 进行浅、中、深分组研究发现,ACD 与 STS 具有正向线性关系,但随着前房深度的加深,此线性关系逐渐减弱,而 ACD 与 LT 及

CLR 的负相关性也可从 3D 气泡图 (图 3A) 观察到。ACD 与眼部特征解剖参数的这种正相关性及其与晶状体参数的负相关性,可以从基因调控、眼胚胎发育的形态学构成等方面解释,当胚眼第 4 wk 形成视杯时^[28],视杯包围晶状体泡,前端眼前节径线初步形成;继而晶状体前部的间叶组织形成空泡,第 7 wk 时初步形成前房 (图 8),乃至第 12 wk 时悬韧带初步形成。而晶状体泡内陷和视杯的初步形成与 3 种纤维母细胞生长因子 (fibroblast growth factors, FGF),即 FGF1-3 受 PAX6、SIX3、SIX5 及 PITX3 等同源盒基因调控^[27] 有关,其中 PAX6 是眼睛形态发生的关键调控基因^[29],SIX3 在视泡和前神经板中表达,PITX3 在晶状体板编码中表达并形成晶状体凹^[30],上述基因在诱导眼睛和晶状体发育中发挥重要的顺序作用。晶状体的形成与表皮外胚层和视泡接触之前的一系列诱导相互作用有关^[29],而在该过程中晶状体泡的“内陷”对 STS、ATA 等眼部解剖特征参数及前房深度的形成至关重要,Sevel 等^[31] 通过解剖发现在 13.6 mm 和 28.2 mm 的胚胎时,发育中的前房具有与后移的晶状体类似的形状,而晶状体泡通过后囊下的细胞失去细胞核并迅速伸长,填充晶状体泡腔形成初级晶状体核^[28],初步形成晶状体厚度,并且随着年龄增加,次级晶状体纤维通过晶状体赤道部晶状体上皮细胞的分裂产生,逐渐导致晶状体厚度增加。另有研究发现,晶状体也会随近视而变化,当近视加重时晶状体变薄,囊膜伸展,但体积不变,眼轴伸长中和了晶状体屈光力的降低,而角膜屈光力保持不变^[32]。Zhong 等^[33] 也发现在屈光参差患儿中近视较严重眼的 ACD、AL 较大,而 LT 较小。因此,晶状体不仅是眼部具备调节功能的组织,还在时间、空间上均参与眼部水平径、垂直径、前后径等眼部解剖特征参数的塑造。

本研究中,通过多元线性回归方程可知 LT 与年龄 (发育因素)、ACD (眼部解剖前后径)、 ATA_H (眼部解剖水平径)、 CLR_V (晶状体自身形态) 均有关,其校正 R^2 为 0.458,说明此回归模型中 LT 有 45.8% 的变异可由上述参数解释,而 Meng 等^[34] 研究使用白内障患者的不同眼部生物参数进行多元回归分析发现, $LT = 0.226 \times AL - 0.664 \times ACD + 0.280 \times \text{年龄}$,其校正 R^2 为 0.53,拟合优度较为接近。虽然上述两项研究目的、参数及纳入患者均不同,但均提示 LT 与年龄及 ACD 具有密切关系,Wang 等^[35] 研究也发现年龄与 LT 密切关系。此外,本研究中,多元线性回归方程提示 CLR_H 仅与 CLR_V 有关,而 CLR_V 与 CLR_H 及 ATA_H 有关,说明 CLR 是一个较为独立的参数,且部分学者使用 CLR 联合 ATA 预测拱高有一定的理论依据,提示要更加注意基础的形态学研究,同时要注意参数匹配使用的情况。

诚然,本研究也存在不足之处:(1) 样本量偏少,可能存在抽样误差;(2) 未对 ACD 或年龄进行分组研究晶状体参数;(3) 因为设备原因,无法获取眼部解剖特征参数角膜垂直直径 (vertical white to white, WTW_V) 以供研究。但相信随着患者数量的累积,在后续研究中结果将更具说服力。本研究后续拟进行 ICL 术后拱高异常与晶状体参数及眼部解剖特征参数关系的研究,以进一步明确它们的相互关系。

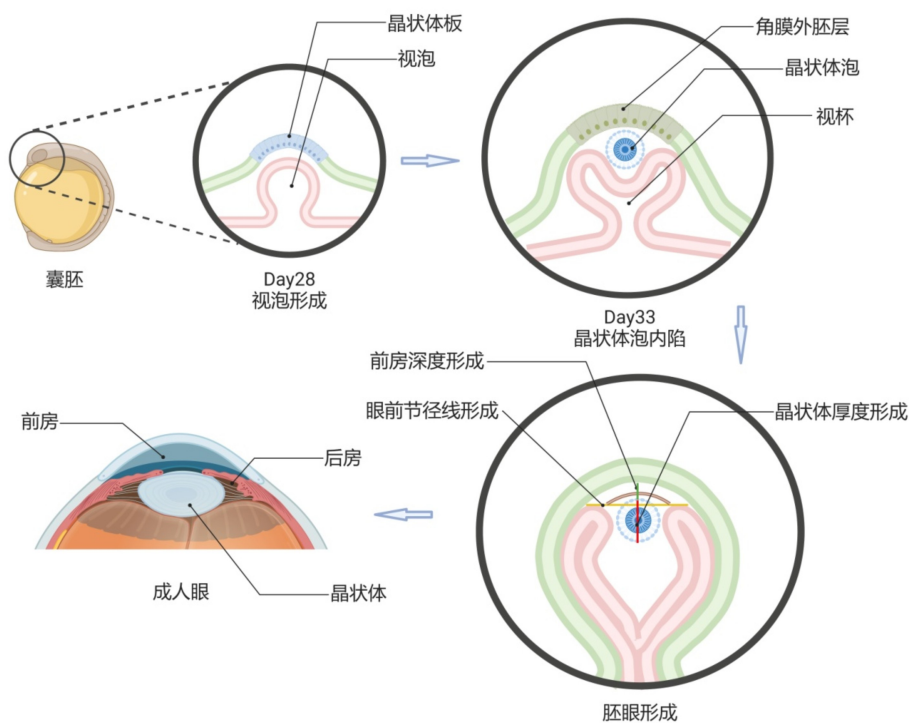


图8 眼胚胎发育示意图。

综上所述,近视患者晶状体参数与部分轴向或径线的眼部解剖特征参数存在紧密的相关性及因果关系,这种关系始于胚胎发育,联系于ACD,可应用于ICL手术。

参考文献

[1] Chen X, Guo L, Han T, et al. Contralateral eye comparison of the long-term visual quality and stability between implantable collamer lens and laser refractive surgery for myopia. *Acta Ophthalmol*, 2019,97(3):e471-e478.

[2] Montés - Micó R, Ruiz - Mesa R, Rodríguez - Prats JL, et al. Posterior-chamber phakic implantable collamer lenses with a central port: a review. *Acta Ophthalmol*, 2021,99(3):e288-e301.

[3] Yang W, Zhao J, Sun L, et al. Four-year observation of the changes in corneal endothelium cell density and correlated factors after Implantable Collamer Lens V4c implantation. *Br J Ophthalmol*, 2021,105(5):625-630.

[4] 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.

[5] Owaidhah O, Al-Ghadeer H. Bilateral cataract development and pupillary block glaucoma following implantable collamer lens. *J Curr Glaucoma Pract*, 2021,15(2):91-95.

[6] Bohac M, Bisevic A, Gabric I, et al. A critical evaluation of longitudinal changes of astigmatism following implantation of toric implantable collamer lens (TICL): a comparison between treated and untreated cases over 4 years. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2022,260(4):1377-1386.

[7] Wei RY, Li MY, Aruma A, et al. Factors leading to realignment or exchange after implantable collamer lens implantation in 10 258 eyes. *J Cataract Refract Surg*, 2022,48(10):1190-1196.

[8] Pinto C, Monteiro T, Franqueira N, et al. Posterior chamber collamer phakic intraocular lens implantation: Comparison of efficacy and safety for low and moderate-to-high myopia. *Eur J Ophthalmol*, 2021,2021:721211012861.

[9] Chen Q, Tan WN, Lei XH, et al. Clinical prediction of excessive vault after implantable collamer lens implantation using ciliary body morphology. *J Refract Surg*, 2020,36(6):380-387.

[10] Zhang X, Chen X, Wang XY, et al. Analysis of intraocular positions of posterior implantable collamer lens by full-scale ultrasound biomicroscopy. *BMC Ophthalmol*, 2018,18(1):114.

[11] 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.

[12] Torbey J, Mehanna CJ, Abdul Fattah M, et al. Comparison of intraoperative vs postoperative optical coherence tomography measurement of implantable collamer lens vaulting. *J Cataract Refract Surg*, 2020,46(5):737-741.

[13] 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.

[14] Dong J, Yao J, Chang S, et al. Evaluation of ocular diameter parameters using swept-source optical coherence tomography. *Medicina (Kaunas)*, 2023,59(5):899.

[15] 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.

[16] 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.e1.

[17] Sanders DR, Vukich JA, Doney K, et al. U.S. Food and Drug Administration clinical trial of the Implantable Contact Lens for moderate to high myopia. *Ophthalmology*, 2003,110(2):255-266.

[18] 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.

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

[20] 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.

[21] 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.

[22] Chen X, Han T, Zhao WX, et al. Effect of the difference between the white-to-white and sulcus-to-sulcus on vault and the related factors after ICL implantation. *Ophthalmol Ther*, 2021,10(4):947-955.

[23] 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 phthalmol*, 2021,259(12):3795-3803.

[24] Li XY, Chang PJ, Li ZL, et al. Agreement between anterior segment parameters obtained by a new ultrasound biomicroscopy and a swept-source Fourier-domain anterior segment optical coherence tomography. *Expert Rev Med Devices*, 2020,17(12):1333-1340.

[25] 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.

[26] Khanani AM, Archer SM, Brown SM. Horizontal versus vertical

dark-adapted pupil diameters in normal individuals. *J Cataract Refract Surg*, 2004,30(12):2557-2558.

[27] Gao J, Liao RF, Li N. Ciliary sulcus diameters at different anterior chamber depths in highly myopic eyes. *J Cataract Refract Surg*, 2013,39(7):1011-1016.

[28] Francis PJ, Berry V, Moore AT, et al. Lens biology: development and human cataractogenesis. *Trends Genet*, 1999,15(5):191-196.

[29] Grindley JC, Davidson DR, Hill RE. The role of Pax-6 in eye and nasal development. *Development*, 1995,121(5):1433-1442.

[30] Winchester CL, Ferrier RK, Sermoni A, et al. Characterization of the expression of DMPK and SIX5 in the human eye and implications for pathogenesis in myotonic dystrophy. *Hum Mol Genet*, 1999,8(3):481-492.

[31] Sevel D, Isaacs R. A re-evaluation of corneal development. *Trans Am Ophthalmol Soc*, 1988,86:178-207.

[32] Muralidharan G, Martínez - Enríquez E, Birkenfeld J, et al. Morphological changes of human crystalline lens in myopia. *Biomed Opt Express*, 2019,10(12):6084-6095.

[33] Zhong YY, Zeng L, Chen Z, et al. Ocular anatomical and functional characteristics in anisometric Chinese children. *Optom Vis Sci*, 2021,98(5):476-482.

[34] Meng J, Wei L, He W, et al. Lens thickness and associated ocular biometric factors among cataract patients in Shanghai. *Eye Vis (Lond)*, 2021,8(1):22.

[35] Wang YH, Zhong J, Li XM. Age-related changes of lens thickness and density in different age phases. *Int J Ophthalmol*, 2022,15(10):1591-1597.