

ICL 术后不同瞳孔直径下拱高的变化及视觉质量分析

王敏, 蔡劲锋, 李霞, 毛凯波, 董卫文, 汤加坚

引用: 王敏, 蔡劲锋, 李霞, 等. ICL 术后不同瞳孔直径下拱高的变化及视觉质量分析. 国际眼科杂志 2021;21(6):1072-1076

基金项目: 上海市科委基金 (No.1741195020A); 湖南省科委创新基金 (No.2020SK50109)

作者单位: (200336) 中国上海市, 上海爱尔眼科医院

作者简介: 王敏, 毕业于中南大学, 眼科学博士, 副主任医师, 屈光科副主任, 研究方向: 眼视光学、近视防控。

通讯作者: 蔡劲锋, 毕业于福建医科大学, 本科, 副主任医师, 副院长, 研究方向: 眼视光学. 2371227178@qq.com

收稿日期: 2020-10-12 修回日期: 2021-05-08

摘要

目的: 观察有晶状体眼的人工晶状体植入术 (ICL) 术后在不同瞳孔直径状态下晶状体拱高的变化及视觉质量相关分析。

方法: 回顾性病例研究。选取 2018-01/2019-01 在上海爱尔眼科医院行 V4c 型 ICL 植入手术顺利并按期随访满足测量要求的患者 43 例 86 眼。术前, 术后 1wk, 1, 3mo 行常规参数和 iTrace 检测, Visante-OCT 行 3mm 和 5mm 瞳孔下的晶状体拱高测量。

结果: 术后 1wk, 1, 3mo 在 3mm 瞳孔下的拱高为 $586.06 \pm 24.49, 560.16 \pm 21.31, 508.19 \pm 21.17 \mu\text{m}$, 5mm 瞳孔下的拱高分别是 $698.13 \pm 20.98, 667.69 \pm 20.16, 613.28 \pm 19.79 \mu\text{m}$ ($F_{\text{时间}} = 40.160, P_{\text{时间}} < 0.001; F_{\text{组间}} = 56.835, P_{\text{组间}} < 0.001$)。3 次的大、小瞳下的拱高差值分别为 $112.06 \pm 8.91, 107.53 \pm 6.94, 101.01 \pm 10.64 \mu\text{m}$ ($F = 16.875, P > 0.05$)。术后全眼总高阶像差和 RMS 值明显降低, 与术前相比有显著性差异 ($F = 29.847, 85.019$, 均 $P < 0.001$); 术后 3 次均值之间无差异。MTF 值和 SR 值术后较术前明显升高 ($F = 47.653, 33.264$, 均 $P < 0.001$), 术后 3 次均值间无差异。术后 3mo, 在 $\geq 5\text{mm}$ 瞳孔下总高阶像差的 RMS 值较 $\leq 3\text{mm}$ 时明显增加, 球差和三叶草差的增加显著 ($t = 21.812, 17.136$, 均 $P < 0.001$), 彗差 RMS 值无明显差异 ($t = 2.028, P > 0.05$); $\geq 5\text{mm}$ 瞳孔下的 MTF 值在 5、10、15、20、25、30c/d 的空间频率下均较 $\leq 3\text{mm}$ 时明显降低 ($t = 15.138, 9.147, 7.018, 4.693, 3.814, 3.075$, 均 $P < 0.05$)。

结论: ICL 术后瞳孔活动对拱高波动造成的影响约 $110 \mu\text{m}$ 。建议术后拱高低值在 $300 \mu\text{m}$ 以上, 仅供参考。ICL 植入术后能显著降低全眼总高阶像差和像差的均方根值, 明显提升 MTF 和 SR 值。ICL 术后瞳孔大小对视觉质量有明显影响, 大瞳状态下球差和三叶草差增大, MTF 值普遍降低。

关键词: ICL 植入术; 拱高; 高阶像差; 瞳孔; 调制传递函数

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2021.6.27

Analysis of changes of visual quality and vault height under different pupil diameters after ICL

Min Wang, Jin-Feng Cai, Xia Li, Kai-Bo Mao, Wei-Wen Dong, Jia-Jian Tang

Foundation items: Shanghai Science and Technology Commission Fund (No. 1741195020A); Hunan Provincial Science and Technology Commission Innovation Fund (No.2020SK50109) Shanghai Aier Eye Hospital, Shanghai 200336, China

Correspondence to: Jin-Feng Cai. Shanghai Aier Eye Hospital, Shanghai 200336, China. 2371227178@qq.com

Received: 2020-10-12 Accepted: 2021-05-08

Abstract

• **AIM:** To observe the changes of the vault height and the correlation analysis of visual quality under different pupil diameters after ICL surgery.

• **METHODS:** Retrospective case study. Selected 43 patients (86 eyes) who implanted V4c ICL surgery successfully at Shanghai Aier Eye Hospital and followed up regularly to meet the measurement requirements from January 2018 to January 2019. Routine parameters and iTrace were checked before and 1wk, 1mo, and 3mo after surgery. Visante-OCT was used to measure the vault height under the pupils of 3mm and 5mm.

• **RESULTS:** The vault height under the 3mm pupil at 1wk, 1mo and 3mo after surgery were ($586.06 \pm 24.49, 560.16 \pm 21.31, 508.19 \pm 21.17$) μm , the values under the 5mm pupil were ($698.13 \pm 20.98, 667.69 \pm 20.16, 613.28 \pm 19.79$) μm ($F_{\text{Time}} = 40.160, P_{\text{Time}} < 0.001; F_{\text{Groups}} = 56.835, P_{\text{Groups}} < 0.001$). The wave of vault under the different pupils was ($112.06 \pm 8.91, 107.53 \pm 6.94, 101.01 \pm 10.64$) μm ($F = 16.875, P > 0.05$). The total high-order aberration (HOA) and RMS of the whole eye after ICL were significantly reduced ($F = 29.847, 85.019; P < 0.001$). The MTF and SR value were significantly higher than before surgery ($F = 47.653, 33.264; P < 0.001$), and there was no statistical difference after ICL. At 3mo after surgery, the RMS and MTF values at 3mm and 5mm pupils were compared. The RMS value of the total HOA under the pupil of 5mm is significantly higher than that at 3mm, and the increase of spherical and trefoil aberration is significant ($t = 21.812, 17.136; P < 0.001$). No significant difference in coma value ($t = 2.028, P > 0.05$). The MTF at 5mm pupils were significantly lower than those at 3mm at spatial frequencies of 5, 10, 15, 20, 25, 30c/d ($t = 15.138, 9.147, 7.018, 4.693, 3.814$ and

3.075, all $P < 0.05$).

• **CONCLUSION:** The impact of pupil movement on vault height fluctuation is about $110\mu\text{m}$. It is recommended that the minimum vault height should be above $300\mu\text{m}$. It can significantly reduce the root mean square value of total high-order aberration and aberration of the whole eye, and significantly increase the MTF and SR values after ICL surgery. The pupil size has a significant effect on visual quality after ICL. The spherical aberration and trefoil aberration increase under the condition of large pupil, and the MTF value generally decreases.

• **KEYWORDS:** implantable contact lens; vault height; higher-order aberration; pupil; modulation transfer function

Citation: Wang M, Cai JF, Li X, *et al.* Analysis of changes of visual quality and vault height under different pupil diameters after ICL. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2021;21(6):1072-1076

0 引言

有晶状体眼的人工晶状体植入术 (implantable collamer lens, ICL) 手术进入中国发展到现在已有十余年历史,目前使用较多的是其第4代产品。随着改良设计中中央孔型 V4c 型人工晶状体的面市, ICL 手术量呈现突飞猛进的态势。V4c 具有 1 个中央孔和 2 个周边孔,孔直径为 $360\mu\text{m}$ 。其优点是术前无需行虹膜周切,有利于房水循环,避免瞳孔阻滞的发生,使术后高眼压、白内障的发生率降低^[1-2]。在良好适应证的把握前提下,绝大部分近视患者感受到了 ICL 手术带来的良好视觉体验,因此越来越多的近视患者有接受同类手术的意愿。作为 ICL 手术医生,对于 ICL 术后拱高的追求也越来越趋向精准。如何让近视患者接受一次手术即可获得理想拱高,避免二次手术的调位或晶状体更换,已成为相关学术交流中讨论的主流课题。影响 ICL 术后拱高的因素有很多,临床上允许拱高的波动范围也较大。这些多因素影响让拱高成为一个不易准确预估的临床难题^[3-5]。因此,我们回顾性对比分析了一批已行 ICL 的近视患者,随访术后不同时间段、不同瞳孔直径下的 ICL 术后拱高变化及视觉质量检测,分析在不同瞳孔大小状态下,即虹膜活动对晶状体拱高的影响。希望能为临床上进行晶状体选择、预估拱高提供一些参考。

1 对象和方法

1.1 对象 入选 2018-01/2019-01 在我院顺利植入 V4c 人工晶状体、按期随访并满足测量要求的患者 43 例 86 眼。选择患者的纳入标准:(1)术前屈光状态基本稳定且本人有手术摘镜的意愿。(2)术前常规检查均符合手术要求,眼部及全身无手术禁忌证。(3)患者依从性好,能按期随访。排除标准:(1)眼压均值 $>21\text{mmHg}$ 或有明确青光眼家族史。(2)有视网膜裂孔、白内障、葡萄膜炎等病史。(3)前房深度 $<2.8\text{mm}$ 。(4)角膜内皮细胞计数 $<2\,000\text{cell}/\text{mm}^2$ 。(5)2019 版中国有晶状体眼后房型人工晶状体植入术专家共识里列举的绝对和相对禁忌证^[6]。本研究遵循《赫尔辛基宣言》,接受手术及随访的患者均了解手术过程及风险,并签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 术前检查 术前眼部检查:裸眼视力(UCVA)、最佳

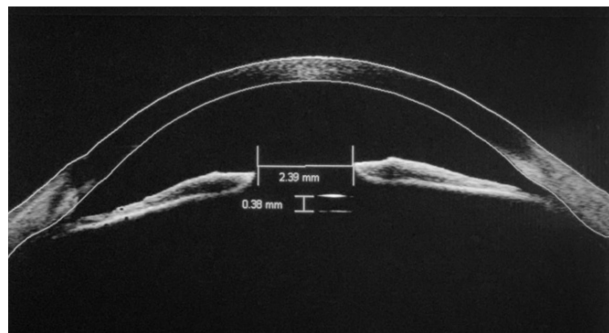


图 1 Visante-OCT 进行拱高和瞳孔直径测量。

矫正视力(best corrected visual acuity, BCVA) (标准对数视力表检查,小数记录法)、主客观验光、非接触眼压计(CT-80)、裂隙灯显微镜、角膜内皮镜检测(SP3000P);浅表组织 B 超检查(AVISO);Pentacam 角膜地形图检测(70900,软件版本 1.22);光线追踪波阵面像差分析系统(iTrace visual function analyzer, iTrace) (软件版本 6.0.2) 进行术前及术后视觉质量的相关检测;眼部 OCT 检测(Spectralis OCT);超声生物显微镜测量(UBM SW-3200) 进行眼前段检测、前房深度及睫状沟到沟水平径及垂直径的测量。

1.2.2 手术方法及随访检测 所有入选患者均植入 V4c 型人工晶状体,使用由 STAAR Surgical 制造公司开发的在线软件来计算的 ICL 度数,其型号大小范围为 $12.1 \sim 13.7\text{mm}$ 。手术均由经验值 1000 例以上的同一位医生完成。所有 ICL 晶状体均从颞侧角膜透明切口植入眼内,在水平位上做适度调整以与设计角度相匹配。

术前 1h 使用 1% 复方托吡卡胺滴眼液散瞳,瞳孔充分散大后进入手术室。患者平卧位,表面麻醉后在颞侧做 3mm 透明角膜切口,前房内注入黏弹剂,将已装好的 V4c 晶状体缓慢推入前房,待晶状体展开后将 4 个襻植入虹膜下后房内,在水平位上行适度调整以与设计角度相匹配。用 BSS 液冲洗置换出前房内黏弹剂。结膜囊内涂妥布霉素地塞米松眼膏包眼,术毕。

术后 1wk, 1, 3mo 随访检查,每次随访检测项目:视力、电脑验光、眼压测量、使用 Visante-OCT 测量不同瞳孔直径下的拱高;以暗环境下瞳孔直径 $\geq 5\text{mm}$ 为大瞳孔;明环境下瞳孔直径 $\leq 3\text{mm}$ 为小瞳孔。通过检眼师调节照明光强度来获得理想瞳孔直径,满足要求者的测量数据入选(图 1)。iTrace 视觉分析仪检查:患者在暗室环境下使用 iTrace 系统进行测量。检查时嘱受试眼注视像差仪的红色光标,测量受试眼的波阵面像差。选取总高阶像差值(HO total)、像差均方根值(root mean square, RMS)、调制传递函数(modulation transfer function, MTF)、SR 比值进行统计比较^[7-10]。所有检查均由同一操作熟练的检查者完成。

统计学分析:采用 SPSS20.0 统计软件进行统计学分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,术后不同时期的均数比较采用重复测量的方差分析;各时间点的组间差异比较,采用独立样本 t 检验;各组的时间差异比较,采用 LSD- t 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 手术前后的一般资料 入选患者共 43 例 86 眼。其中男 19 例 38 眼(44%),女 24 例 48 眼(56%)。年龄 $20 \sim 37$

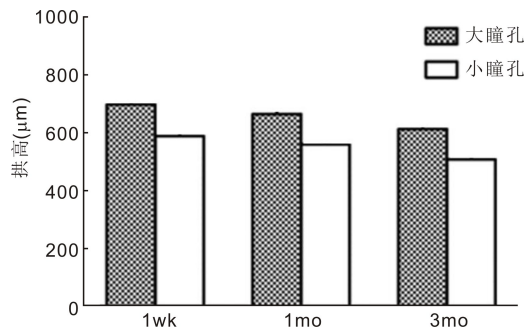


图2 ICL术后大、小瞳孔下的拱高变化。

表1 术前眼部各项参数情况

参数	均值($\bar{x}\pm s$)	范围
术前 ACD(mm)	3.32±0.28	2.79~3.85
角膜厚度(μm)	531.51±28.43	493~609
眼轴长度(mm)	26.83±2.14	24.27~29.74
眼压(mmHg)	13.7±2.94	9~21
角膜内皮细胞数量(cell/mm ²)	2858.89±265.54	2626~3234
平均K值(D)	44.12±4.79	39.42~48.75
ICL尺寸(mm)	12.71±0.31	12.1~13.7
白到白(WTW,mm)	11.39±1.02	10.9~12.25
沟到沟(STS,mm)	11.75±0.97	11.31~12.53
UCVA	0.04±0.13	0.01~0.15
BCVA	0.83±0.18	0.6~1.2

表2 不同瞳孔直径在术后不同时间的拱高及其差值变化

瞳孔直径	($\bar{x}\pm s, \mu\text{m}$)		
	术后 1wk	术后 1mo	术后 3mo
≤3mm	586.06±24.49	560.16±21.31	508.19±21.17
≥5mm	698.13±20.98	667.69±20.16	613.28±19.79
拱高差值	112.06±8.91	107.53±6.94	101.01±10.64

(平均 27±5.47)岁。术前等效球镜屈光度-4.75~-12.50(平均-8.17±4.33)D。术后 3mo 平均屈光度 0.16±0.55D,其中波动在±1.00D 以内者占 89%,在±0.50D 以内者占 70%。术后达到或超过 20/20 的占 84%。患者术前一般资料及眼部测量参数见表 1。

2.2 术后不同时间不同瞳孔直径下拱高的变化 术后 1wk,1,3mo,大、小瞳孔直径下的拱高经重复测量方差分析比较,差异有统计学意义($F_{\text{时间}} = 40.160, P_{\text{时间}} < 0.001$; $F_{\text{组间}} = 56.835, P_{\text{组间}} < 0.001$),说明时间因素对于拱高的影响有统计学意义。术后不同时间大、小瞳孔直径下的拱高值组内两两比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$);术后不同时间大、小瞳孔直径下的拱高值组间比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$),见表 2,图 2。同时我们还进行了不同瞳孔状态下拱高差值的比较,差异无统计学意义($F = 16.875, P > 0.05$),见表 2。

2.3 正常瞳孔下手术前后高阶像差变化 入选患者术前与术后随访时均行正常瞳孔下 iTrace 的视觉质量检测,比较 HO total,MTF,SR,RMS 等客观指标之间的差异性。经重复测量方差分析比较后发现:术后总高阶像差和 RMS 值明显降低,手术前后其均值比较,差异均有统计学意义($F = 29.847, 85.019$,均 $P < 0.001$),但术后各时间总高阶像

表3 正常瞳孔下手术前后视觉质量的变化 $\bar{x}\pm s$

时间	HO total	MTF	SR	RMS
术前	0.323±0.027	0.039±0.002	0.058±0.009	5.079±0.296
术后 1wk	0.169±0.011	0.164±0.016	0.136±0.016	0.804±0.080
术后 1mo	0.187±0.017	0.172±0.020	0.150±0.021	0.835±0.071
术后 3mo	0.181±0.012	0.169±0.013	0.141±0.011	0.821±0.063

差、RMS 值两两比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。MTF 值和 SR 值则是术后较术前明显升高,手术前后其均值比较,差异均有统计学意义($F = 47.653, 33.264$,均 $P < 0.001$),但术后各时间 MTF 值、SR 值两两比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$),见表 3。

2.4 术后 3mo 时不同瞳孔直径下视觉质量的对比分析

术后 3mo 进行 iTrace 的重点检测,通过暗室环境来获取较大直径的瞳孔,选择比较小瞳孔(≤3mm)与大瞳孔(≥5mm)直径下的 RMS 与 MTF 值。在大瞳孔直径下总高阶像差的 RMS 值明显增加,增长 2.43 倍;其中以球差和三叶草差的增加最为明显($t = 21.812, 17.136$,均 $P < 0.001$),分别增加 3.16、2.54 倍。大瞳孔直径下彗差的变化量最小,RMS 值较小瞳孔无明显差异($t = 2.028, P > 0.05$)。大瞳孔状态下的 MTF 值在 5、10、15、20、25、30c/d 的空间频率下,比小瞳孔状态下的 MTF 值明显降低,差异均具有统计学意义($t = 15.138, 9.147, 7.018, 4.693, 3.814, 3.075$,均 $P < 0.05$),见表 4,图 3。

3 讨论

ICL 手术发展至今,为了追求更为便捷的手术过程和更好的视觉质量,其晶状体一直在不断改进设计推陈出新,V4c 型晶状体的面世为近视患者带来更多便利和福音。屈光手术医生也在不断追求如何获得理想拱高,尽可能地减少术后远期并发症,减少 2 次手术更换晶状体以减轻患者的心理压力和经济负担。

多篇文献报道指出:ICL 植入术后允许的拱高范围比较大,一般而言大约为角膜厚度增减一半。假设角膜中央厚度是 550μm,那么术后的拱高范围可在 250~850μm 之间。临床上也观察到:ICL 植入眼内后其拱高的变化是动态的不断变化的。由于患者的角膜厚度、前房深度等差异较大,术后常会看到低于 100 或高于 1000μm 的拱高^[5,11-13]。面对过低或过高的拱高,临床医生想知道生理性的瞳孔活动本身将对拱高产生多少影响,而这种由于调节所致的拱高波动又会对视觉质量产生怎样的影响,故设计了本课题来初步了解这些动态可变的数据范围。

根据 STAAR 公司数据:V4c 晶状体的设计本身就具备一定的弧度和高度,从-3.0~-12.0D 的晶状体高度约 120~160μm,随度数加大晶状体自身高度也相应增加,最高约 180μm,平均高度约 150μm。V4c 晶状体植入眼内后晶状体的前表面会和虹膜发生直接接触,当眼部发生调节反应和瞳孔活动时,虹膜将对晶状体产生压力,这个压力包括有虹膜的垂直压力以及收缩时产生的水平压力,并且能通过 ICL 的 4 条襻传递到睫状肌。如果 ICL 的拱高较大,虹膜的垂直压缩会推动 ICL 使其襻更进一步伸向睫状沟,由于睫状体组织和 ICL 晶状体都很软,能较好地缓冲和接纳这部分压力,对拱高的接受度会较好。如果 ICL 的拱高较低,虽然有时能通过前节 OCT 测出一定的拱高,但 ICL 的 4 个支撑襻可能无法真正到达睫状沟,测出来的可

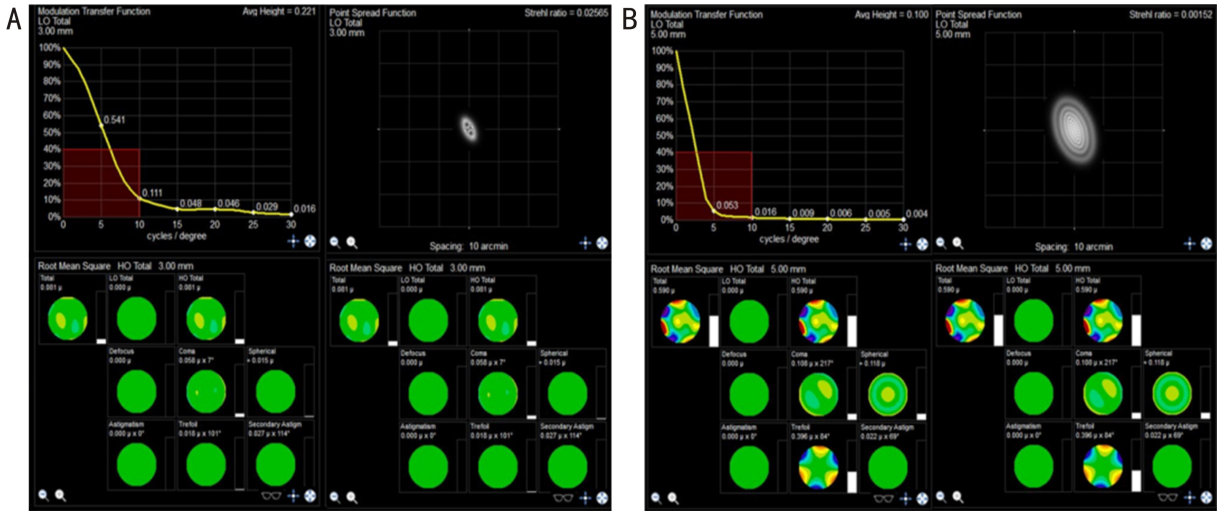


图3 同一患者在瞳孔直径 $\leq 3\text{mm}$ 与 $\geq 5\text{mm}$ 状态下的MTF与点扩散函数对比 A:瞳孔直径 $\leq 3\text{mm}$;B:瞳孔直径 $\geq 5\text{mm}$ 。

表4 术后3mo不同瞳孔直径下全眼视觉质量比较分析

瞳孔直径	球差	彗差	三叶草差	总高阶像差	5c/d	10c/d	15c/d	20c/d	25c/d	30c/d
$\leq 3\text{mm}$	0.036 ± 0.013	0.052 ± 0.022	0.057 ± 0.032	0.172 ± 0.041	0.654 ± 0.133	0.346 ± 0.141	0.188 ± 0.056	0.093 ± 0.127	0.053 ± 0.106	0.036 ± 0.094
$\geq 5\text{mm}$	0.114 ± 0.038	0.075 ± 0.037	0.145 ± 0.171	0.419 ± 0.033	0.077 ± 0.046	0.016 ± 0.108	0.008 ± 0.096	0.006 ± 0.092	0.005 ± 0.073	0.002 ± 0.045
<i>t</i>	21.815	2.028	17.136	12.142	15.138	9.147	7.018	4.693	3.814	3.075
<i>P</i>	<0.001	>0.05	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05

能只是晶状体自带的拱高,当虹膜和睫状肌运动时,其产生的压力极有可能压平晶状体的光学区,使ICL的光学面和自身晶状体的前囊发生较大面积的直接接触,在某些情况下能导致拱高测不出^[3,14-15]。

在发生调节时,瞳孔收缩,悬韧带松弛,睫状肌收缩,自然晶状体前表面变凸。研究发现每产生1D的调节力,自然晶状体约向前运动 $30\mu\text{m}$ ^[16]。同时亮光刺激瞳孔收缩,诱发自然晶状体前表面曲率改变,引起晶状体前表面向前运动;前房与后房压力差改变,伴随瞳孔收缩,虹膜施加于ICL的力量增加最终引起拱高下降^[17]。Eissa等^[18]利用UBM研究调节对拱高的影响发现,伴随着瞳孔收缩,ICL被虹膜向后推动,中央区ICL和晶状体更接近,但周边区ICL与晶状体距离的缩短并不像中心那么明显。但因虹膜结构上各处薄厚不均、生理解剖和个体间差异大,使得定量证实拱高与虹膜问题存在一定困难。

从这个意义上而言,术后的拱高相对高一些会更为安全。那么当虹膜瞳孔发生变化时会对ICL的拱高产生多大的影响呢?我们选择在 $\leq 3\text{mm}$ 和 $\geq 5\text{mm}$ 的瞳孔情况下进行前节OCT的拱高测量,计算二者差值的平均值,并且观察了术后1wk,1,3mo三个不同时间点。研究结果表明:术后ICL的拱高会随着时间的延长而逐步趋于降低,与多篇文献报道结果吻合^[17,19]。术后3次在不同瞳孔直径下的拱高具有显著性差异;但3次的平均差值在 $100 \sim 116\mu\text{m}$,未显示统计学差异。国内王宁利等^[20]报告:平均拱高在小瞳下为 $0.48 \pm 0.27\text{mm}$,在散瞳状态下为 $0.34 \pm 0.19\text{mm}$,两者差异有统计学意义($t=2.104, P=0.038$)。也就是说术后拱高的一般变化趋势除了逐渐走低外,还要把眼前节肌肉的运动、压力等因素考虑进去,因此结合以上诸多因素,我们建议术后的拱高低值要在 $280 \sim 300\mu\text{m}$ 之间更为合理安全。国外有学者报道建议拱高低值在 $230\mu\text{m}$ 以上^[3]。但也有学者报道对于拱高 $< 150\mu\text{m}$ 的患

者随访3a未发现影响视力的如并发性白内障等情况的出现,总体视力稳定^[21-22],以供各位临床医生参考。

本研究除关注拱高的动态变化之外,还着重进行了视觉质量方面的比较。本研究使用iTrace设备来进行手术前、后视觉质量分析检测。该设备基于Placido的EyeSysVista角膜地形图仪原理,采用大的Placido格式可提供更长的工作距离,同时可降低聚焦和定位对位置误差的敏感性,提高了角膜地形图所测数据的精确性和重复性。采用光追踪技术,首先得到低阶和高阶像差,然后经计算机软件得出去除低阶像差影响的MTF曲线^[23],含了视网膜成像的光强度变化和位置偏差信息。从HO total、MTF值、SR值及RMS值等多项客观指标出发,全面评价ICL植入术后的视觉质量。其中MTF值和SR值均是通过对物理方法评价视觉光学系统的成像质量,MTF描述的是不同空间频率下物像对比度和光学系统成像质量的关系。相比对比敏感度检查,患者的主观认知水平、配合程度及视觉传导通路等因素对检查结果的影响较小,能客观反映屈光系统的成像质量。MTF值和SR值越高,说明视觉光学系统的成像越清晰,视觉质量越好^[24]。

我们在术前及术后的3次随访时间点内,均测量了正常瞳孔下的HO total,RMS,MTF,SR值。从结果中得出:手术前、后4组指标之间均存在极显著的差异性,HO total和RMS均明显减小;MTF和SR则显著性增大($P < 0.001$),说明ICL术后视觉质量明显提升。在术后3次随访时间点的数据之间则未显示差异有统计学意义,说明ICL术后正常瞳孔下的视觉质量稳定。这一结果与Miao等^[25]的研究结果一致。Alfonso等^[26]对ICL V4c矫正超高度近视进行观察发现植入ICL术后1mo视力明显提高,各个空间频率对比敏感度均有所提高,总高阶像差与术前相比降低。也有研究表明带孔型ICL和传统ICL在高阶像差的患者植入后患者主观感觉及对对比敏感度无明显差异。

Kamiya 等^[27]对 ICL 手术前后对比敏感度进行比较发现高频区域的对比敏感度在 ICL 术后显著上升。国内黄一飞等报道 ICL 术后眩光敏感度较术前明显提升,RMS 值术后明显减少,认为和 ICL 晶状体对视网膜成像的放大倍数增加有关^[28]。

然后我们再选取术后 3mo 的 iTrace 检测数据,来比较分析 $\leq 3\text{mm}$ 和 $\geq 5\text{mm}$ 瞳孔直径下视觉质量的波动情况:在大瞳孔状态下总高阶像差较小瞳孔时显著增加,以球差和三叶草差的增加显著,慧差则无显著性差异。从 MTF 值来看,从 5~30c/d 空间频率下大瞳孔相较小瞳孔,数值明显下降且有显著性差异。这些数据可以模拟反映出 ICL 植入术后,在夜间或暗环境下,出现夜视力下降、复视、眩光、光圈、重影等不适症状。这些分析说明 ICL 植入术后,患者的视觉质量早期即能得到极显著的提升,其对比敏感度即 MTF 显著增加,球差明显降低且能保持在相对稳定状态。但其视觉质量受瞳孔大小、晶状体拱高波动的影响,这种情况将在术后持续较长时间。这一结果与 Ferrer-Blasco 等^[29]和 Pérez-Vives 等^[30]的报道一致。

综上所述,ICL 术后瞳孔活动对拱高波动的影响均值约 110 μm 左右。ICL 植入术后能显著降低全眼总高阶像差和像差的均方根值,明显提升 MTF 和 SR 值。ICL 术后瞳孔大小对视觉质量有明显影响,大瞳状态下球差和三叶草差增大,MTF 值普遍降低。

参考文献

- 1 陈珣,王晓瑛.有晶状体眼后房型人工晶状体植入术的发展.中国眼耳鼻喉科杂志 2016;16(2):125-129,134
- 2 Shimizu K, Kamiya K, Igarashi A, et al. Early clinical outcomes of implantation of posterior chamber phakic intraocular lens with a central hole (Hole ICL) for moderate to high myopia. *Br J Ophthalmol* 2012;96(3):409-412
- 3 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
- 4 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
- 5 Alfonso JF, Lisa C, Palacios A, et al. Objective vs subjective vault measurement after myopic implantable collamer lens implantation. *Am J Ophthalmol* 2009;147(6):978-983
- 6 中华医学会眼科学分会眼视光学组.中国有晶状体眼后房型人工晶状体植入术专家共识(2019年).中华眼科杂志 2019;55(9):652-657
- 7 周妍妍,郑晓龙. ICL V4c 矫正超高度近视术后视觉质量的短期观察. 国际眼科杂志 2015;15(9):1615-1617
- 8 Saad A, Saab M, Gatinel D. Repeatability of measurements with a double-pass system. *J Cataract Refract Surg* 2010;36(1):28-33
- 9 Pérez-Vives C, Domínguez-Vicent A, Madrid-Costa D, et al. Myopic astigmatism correction: comparison of a Toric Implantable Collamer Lens and a bioptics technique by an adaptive optics visual simulator. *Ophthalmic Physiol Opt* 2013;33(2):114-122
- 10 Nochez Y, Majzoub S, Pisella PJ. Effect of residual ocular spherical aberration on objective and subjective quality of vision in pseudophakic eyes. *J Cataract Refract Surg* 2011;37(6):1076-1081
- 11 Chun YS, Park IK, Lee HI, et al. Iris and trabecular meshwork pigment changes after posterior chamber phakic intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 2006;32(9):1452-1458
- 12 Gomez-Bastar A, Jaimes M, Graue-Hernández EO, et al. Long-term

- refractive outcomes of posterior chamber phakic (spheric and toric implantable collamer lens) intraocular lens implantation. *Int Ophthalmol* 2014;34(3):583-590
- 13 Alfonso JF, Fernández-Vega L, Lisa C, et al. Long-term evaluation of the central vault after phakic Collamer® lens (ICL) implantation using OCT. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2012;250(12):1807-1812
- 14 Kamiya K, Shimizu K, Komatsu M. Factors affecting vaulting after implantable collamer lens implantation. *J Refract Surg* 2009;25(3):259-264
- 15 Schmidinger G, Lackner B, Pieh S, et al. Long-term changes in posterior chamber phakic intraocular collamer lens vaulting in myopic patients. *Ophthalmology* 2010;117(8):1506-1511
- 16 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. *Am J Ophthalmol* 2015;160(4):710-716
- 17 Pettermel V, Köppl CM, Dejaco - Ruhsurm I, et al. Effect of accommodation and pupil size on the movement of a posterior chamber lens in the phakic eye. *Ophthalmology* 2004;111(2):325-331
- 18 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 Ophthalmol* 2016;2016:1383289
- 19 Lee J, Kim Y, Park S, et al. Long-term clinical results of posterior chamber phakic intraocular lens implantation to correct myopia. *Clin Exp Ophthalmol* 2016;44(6):481-487
- 20 董喆,王宁利,付晶,等.调节状态下眼内接触镜在眼内位移的临床观察.中华眼科杂志 2009;45(8):708-712
- 21 Jadidi K, Mosavi SA, Nejat F, et al. Use of low-vault posterior chamber collagen copolymer phakic intraocular lenses for the correction of myopia: a 3-year follow-up. *Albrecht Von Graefes Arch Fur Klinische Und Exp Ophthalmol* 2019;257(7):1555-1560
- 22 Packer M. Meta-analysis and review: effectiveness, safety, and central port design of the intraocular collamer lens. *Clin Ophthalmol* 2016;10:1059-1077
- 23 连慧芳,汤欣,王娟.年龄及瞳孔直径对成人正视眼调制传递函数的影响.中华眼科杂志 2010;46(3):227-232
- 24 Díaz-Doutón F, Benito A, Pujol J, et al. Comparison of the retinal image quality with a Hartmann-Shack wavefront sensor and a double-pass instrument. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006;47(4):1710-1716
- 25 Miao HM, Chen X, Tian M, et al. Refractive outcomes and optical quality after implantation of posterior chamber phakic implantable collamer lens with a central hole (ICL V4c). *BMC Ophthalmol* 2018;18(1):141
- 26 Alfonso JF, Palacios A, Montés-Micó R. Myopic phakic STAAR collamer posterior chamber intraocular lenses for keratoconus. *J Refract Surg* 2008;24(9):867-874
- 27 Kamiya K, Shimizu K, Igarashi A, et al. Comparison of Collamer toric implantable [corrected] contact lens implantation and wavefront-guided laser *in situ* keratomileusis for high myopic astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(10):1687-1693
- 28 杜改萍,黄一飞,王丽强,等.有晶状体眼后房型植入性 Collamer 屈光晶状体矫正近视的疗效观察.中华眼科杂志 2011;47(2):146-150
- 29 Ferrer-Blasco T, García-Lázaro S, Belda-Salmerón L, et al. Intra-eye visual function comparison with and without a central hole contact lens-based system: potential applications to ICL design. *J Refract Surg* 2013;29:702-707
- 30 Pérez-Vives C, Domínguez-Vicent A, Ferrer-Blasco T, et al. Optical Quality of Hyperopic and Myopic Phakic Intraocular Lenses. *Indian J Ophthalmol* 2014;62:437-441