

· 临床研究 ·

V4c 型有晶状体眼后房型人工晶状体植入术后调节灵敏度的变化

周京¹ 蒋浩² 龙秀² 龙秋蓉² 石昕¹ 陈芷璿¹ 谷浩²¹贵州医科大学研究生院, 贵阳 550000; ²贵州医科大学附属医院眼科, 贵阳 550000

通信作者: 谷浩, Email: 13765135577@139.com

【摘要】 目的 利用新型智能翻转拍检测 V4c 型有晶状体眼后房型人工晶状体(ICL)植入术后调节灵敏度的变化。**方法** 采用系列病例观察研究方法,选取 2022 年 4 月至 2023 年 4 月在贵州医科大学附属医院眼科行 V4c 型 ICL 植入术并完成随访的高度近视患者 40 例 80 眼。术前及术后 1 周、1 个月、3 个月、6 个月,采用标准对数视力表检查视力,采用 iFLIP 翻转拍测量单眼、双眼调节灵敏度、调节时间、放松时间。**结果** 单眼、双眼术后 1 周、1 个月、3 个月、6 个月裸眼视力较术前明显提高,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。单眼及双眼调节灵敏度随术后时间的延长均逐渐升高,但幅度逐渐减小,逐渐趋于平稳。术前和术后 1 周、1 个月、3 个月、6 个月,单眼调节灵敏度分别为 (7.99 ± 3.42) 、 (10.19 ± 4.25) 、 (12.03 ± 4.24) 、 (13.10 ± 4.66) 、 (13.64 ± 4.40) cpm,双眼调节灵敏度分别为 (9.01 ± 3.63) 、 (9.56 ± 3.38) 、 (11.58 ± 4.00) 、 (13.31 ± 3.64) 、 (14.03 ± 3.72) cpm,总体比较差异均有统计学意义($F = 24.02, 14.46$, 均 $P < 0.001$),其中术后不同时间点单眼调节灵敏度均较术前升高,术后 1、3、6 个月均较术后 1 周升高,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。术后 1、3、6 个月双眼调节灵敏度较术前和术后 1 周升高,术后 3、6 个月较术后 1 个月升高,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。随着术后时间延长,单眼和双眼调节时间和放松时间均逐渐缩短,但幅度逐渐减小,逐渐趋于平稳。术后不同时间点单眼调节时间和放松时间均较术前缩短,术后 1、3、6 个月单眼调节时间较术后 1 周缩短,术后 3、6 个月单眼调节时间较术后 1 个月缩短,术后 3、6 个月单眼放松时间较术后 1 周缩短,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。术后 1、3、6 个月双眼调节时间均较术前和术后 1 周缩短,术后 3、6 个月均较术后 1 个月缩短,术后不同时间点双眼放松时间均较术前缩短,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。**结论** ICL 植入术后裸眼视力、调节灵敏度、调节时间、放松时间较术前明显改善,并随时间推移逐渐趋于平稳。

【关键词】 近视; 眼调节; 屈光手术; 智能翻转拍; 有晶状体眼后房型人工晶状体; 调节灵敏度**基金项目:** 贵州省科技计划(黔科合支撑[2022]一般 184)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20240318-00076

Changes in accommodative facility after posterior chamber implantation of V4c implantable collamer lens

Zhou Jing¹, Jiang Hao², Long Xiu², Long Qiurong², Shi Xin¹, Chen Zhixuan¹, Gu Hao²¹Graduate School of Guizhou Medical University, Guiyang 550000, China; ²Department of Ophthalmology, the Affiliated Hospital of Guizhou Medical University, Guiyang 550000, China

Corresponding author: Gu Hao, Email: 13765135577@139.com

[Abstract] Objective To investigate the changes in accommodative facility after implantation of V4c implantable collamer lens (ICL) using the intelligent flipper (iFLIP). **Methods** A serial case-control study was conducted. Forty patients (80 eyes) who underwent ICL implantation of V4c for myopia correction and completed the follow-up were enrolled at the Affiliated Hospital of Guizhou Medical University from April 2022 to April 2023. Monocular and binocular accommodative facility, adjustment time, and relaxation time were measured with iFLIP before operation and at 1 week, 1 month, 3 months, and 6 months after operation. This study adhered to the Declaration of Helsinki. The study protocol was approved by the Ethics Committee of the Affiliated Hospital of Guizhou Medical University (No. 2023-983). Written informed consent was obtained from each subject. **Results** Monocular and binocular uncorrected visual acuity at 1 week, 1 month, 3 months and 6 months after surgery were significantly

improved compared with before surgery, and the differences were statistically significant (all $P < 0.05$). Monocular and binocular postoperative accommodative facility gradually increased over time, and the increase gradually decreased and gradually stabilized. Before operation and 1 week, 1 month, 3 months, and 6 months after operation, the monocular accommodative facility was (7.99 ± 3.42), (10.19 ± 4.25), (12.03 ± 4.24), (13.10 ± 4.66) and (13.64 ± 4.40) cpm, and the binocular accommodative facility was (9.01 ± 3.63), (9.56 ± 3.38), (11.58 ± 4.00), (13.31 ± 3.64), and (14.03 ± 3.72) cpm, respectively, with statistically significant overall differences ($F = 24.02, 14.46$; both $P < 0.001$). Monocular accommodative facility was higher than before surgery at each time point after surgery, and was higher than 1 week after surgery at 1, 3, and 6 months after surgery, with statistically significant differences (all $P < 0.05$). Binocular accommodative facility was higher at 1, 3, and 6 months after surgery than that before surgery and 1 week after surgery, and higher at 3 and 6 months after surgery than that at 1 month after surgery, with statistically significant differences (all $P < 0.05$). With the extension of postoperative time, the monocular and binocular adjustment time and relaxation time gradually shortened, and the shortening gradually decreased and stabilized. Monocular adjustment time and relaxation time were shorter than before surgery at all time points after surgery. The monocular adjustment time was shorter at 1, 3 and 6 months after surgery than that at 1 week after surgery and shorter at 3 and 6 months after surgery than that at 1 month after surgery, and the monocular relaxation time was shorter at 3 and 6 months after surgery than that at 1 week after surgery, and the differences were statistically significant (all $P < 0.05$). The binocular adjustment time was shorter at 1, 3 and 6 months after surgery than before surgery and at 1 week after surgery, shorter at 3 and 6 months after surgery than at 1 month after surgery and the binocular relaxation time was shorter at all time points after surgery than that before surgery, showing statistically significant differences (all $P < 0.05$). **Conclusions** After ICL implantation, uncorrected visual acuity, accommodative facility, adjustment time and relaxation time all improve throughout the preoperative period and eventually stabilize.

[Key words] Myopia; Ocular accommodation; Refractive surgical procedures; Intelligent flipper; Implantable collamer lens; Accommodative facility

Fund program: Guizhou Provincial Science and Technology Programme Project (Qiankehe Support [2022] general 184)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20240318-00076

有晶状体眼后房型人工晶状体 (implantable collamer lens, ICL) 植入矫正近视度数范围广、视觉质量优良、安全性高、稳定性强、可预测性好, 是矫正中度至高度屈光不正的有效方法^[1]。此外, 其还具有可逆性且保留了自身晶状体调节功能等优势, 帮助由于角膜曲率异常、角膜切削厚度不够、屈光度过高等原因无法接受角膜屈光矫正手术的近视患者实现了摘镜^[2]。ICL 植入后晶状体攀放在睫状沟内, 睫状沟的组成结构睫状体、晶状体、悬韧带参与眼调节, 可能对术后调节功能造成影响。相对于其他调节参数, ICL 术后调节灵敏度变化与视觉疲劳症状具有显著相关性^[3]。研究显示, ICL/V4 型 ICL 植入术后中长期单眼调节幅度及调节灵敏度均有所升高^[4]; 但也有研究表明, 调节幅度及调节灵敏度术后 1 周较术前呈现下降趋势, 术后 1 个月及 3 个月逐渐升高, 甚至超过术前水平^[5]。V4c 型 ICL 由 V4 型改进而来, 在光学区中央及其两侧分别设计了 1 个 $360 \mu\text{m}$ 小孔, 有利于前后房正常生理性房水沟通, 去除了虹膜上打孔造成的损害, 降低了相关并发症的发生率^[6]。V4c 型 ICL 植入术后调节

灵敏度的变化国内外少有报道, 且既往对调节灵敏度的研究均是通过手动翻转拍检查, 操作繁琐, 而且无固定点设计及遮眼板, 使得患者操作过程容易失去耐心而偷看视标, 误差较大^[4,7]。

iFLIP 智能翻转拍创新性地采用 90° 可旋转平面设计, 可快速变换正负镜片, 有效避免偷看视标, 且镜盘可拆可换, 镜片可更换不同度数, 为不同屈光度及矫正视力人群提供个性化设计。采用准确稳定的鼻尖定位, 定位挡板使得检查过程标准化, 镜眼距及检测距离恒定, 从而保持调节刺激基本不变。自带遮眼板可轻松切换训练眼位, 无需繁琐更换眼罩, 利于患者坚持随访检查和训练。智能翻转拍将调节灵敏度量化到具体调节时间和放松时间, 分别为 1 min 内眼启动调节和完全放松所用平均时间; 调节放松比为调节与放松时间的比值, 反映两者之间的相互对比关系。目前, 关于 V4c 型 ICL/散光矫正型 ICL (Toric implantable collamer lens, TICL) 植入术后运用智能翻转拍检查调节灵敏度的研究国内外鲜有报道。本研究通过 V4c 型 ICL/TICL 植入术矫正高度近视, 运用 iFLIP 智能翻转

拍检查手术前后调节灵敏度,并量化为更多参数,全面评估手术前后调节灵敏度的变化。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用系列病例观察研究,收集 2022 年 4 月至 2023 年 4 月在贵州医科大学附属医院眼科行 V4c 型 ICL/TICL 植入术矫正高度近视患者 98 例 196 眼。纳入标准:(1)患者近视屈光度 ≤ -6.00 D;(2)双眼屈光度球镜绝对值相差 ≤ 1.50 D,柱镜绝对值相差 ≤ 1.00 D;(3)患者有脱镜需求;(4)不宜行角膜屈光手术;(5)术前最佳矫正 LogMAR 视力 ≥ 4.90 ;(6)年龄 18~33 岁;(7)屈光度 2 年内稳定(年增长 ≤ 0.5 D);(8)前房深度 ≥ 2.80 mm,房角开放;(9)角膜内皮细胞计数 $\geq 2\,000$ 个/ mm^2 。排除标准:(1)有活动性眼部病变或感染;(2)有明显影响视力的眼底疾病(非近视眼底退行性变);(3)有青光眼病史或高眼压病史;(4)患有威胁视力的全身性疾病,如高血压、糖尿病、免疫性疾病等;(5)患有影响调节或聚散功能的局部或全身性疾病;(6)患有无法配合检查和/或手术的疾病;(7)既往有眼部手术史、眼部外伤史者;(8)术后不能按时随访。最终共纳入 40 例 80 眼,其中男 10 例,女 30 例;平均年龄(24.45 ± 4.68)岁;术前等效球镜度 $-6.00 \sim -13.00$ D,平均(-9.32 ± 1.88)D。术前左右眼调节灵敏度、调节时间、放松时间、裸眼 LogMAR 视力比较差异均无统计学意义($t = 0.79, Z = 1.11, 0.02, 0.03$, 均 $P > 0.05$) (表 1)。本研究遵循《赫尔辛基宣言》,研究方案经贵州医科大学附属医院伦理审查委员会审批(批文号:2023-983),所有患者均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 术前常规检查 术前进行单眼及双眼裸眼视力和最佳矫正远视力检查、非接触式眼压测量、眼部 B 型超声检查、裂隙灯显微镜下眼前节检查、扩瞳后前置

镜下眼底检查、角膜地形图检查、角膜垂直径及水平径测量、角膜内皮细胞计数。通过电脑验光、主观验光及扩瞳后检影验光确定屈光不正度数。

1.2.2 术前调节灵敏度检查 检查均由同一操作熟练的检查者完成,术前检查时患者在最大正镜度数之最佳矫正视力状态下,遵循先双眼后单眼测量。选取 20/30 可变换视标置于患者眼前 40 cm 处,将 ± 2.00 D 相互垂直的 iFLIP 智能翻转拍置于患者眼前,双眼通过 $+2.00$ D 镜片看清视标后,马上按动自动转换按钮,自动转到 -2.00 D 镜片,测量 1 min,1 min 内转换完成的周期数即为调节灵敏度,同法测量右眼及左眼,记录系统测量出的调节灵敏度、调节时间和放松时间。

1.2.3 手术方法 手术均由同一位资深的手术医师完成。在 STAAR 官方网站上精确获取适配的 V4c 型 ICL/TICL 度数及尺寸后行双眼 V4c 型 ICL 植入。若为 TICL,则需在术前做好散光轴位标记,术中根据轴位旋转图调整 TICL 位置。

1.2.4 术后随访 术后 1 周、1 个月、3 个月、6 个月,复查裸眼视力、非接触式眼压、电脑验光、角膜内皮细胞计数、调节灵敏度。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 26.0 统计学软件进行统计分析。对计量资料数据进行 Shapiro-Wilk 检验,若符合正态分布,以 $\bar{x} \pm s$ 表示,单眼及双眼手术前后不同时间各指标总体差异比较采用重复测量单因素方差分析,两两比较采用 LSD- t 检验;左右眼之间各指标比较采用配对 t 检验。若不符合正态分布,以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,手术前后不同时间点各指标总体差异比较采用 Friedman M 检验,两两比较采用 Wilcoxon 符号秩检验;左右眼之间各指标比较采用 Mann-Whitney U 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 手术前后单眼、双眼视力比较

单眼及双眼手术前后不同时间点 LogMAR 视力总体比较差异均有统计学意义($\chi^2 = 216.25, 116.17$, 均 $P < 0.001$),其中单眼、双眼术后 1 周、1 个月、3 个月、6 个月裸眼视力较术前明显提高,单眼术后 3 个月裸眼视力较术后 1 周提高,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$) (表 2)。

表 1 手术前左右眼各参数比较

Table 1 Comparison of various parameters between left and right eye before operation

眼别	眼数	调节灵敏度 ($\bar{x} \pm s$, cpm) ^a	调节时间 [$M(Q_1, Q_3)$, s] ^b	放松时间 [$M(Q_1, Q_3)$, s] ^b	裸眼视力 [$M(Q_1, Q_3)$] ^b
右眼	40	7.69 $\pm$ 3.54	4.05(2.98, 6.64)	2.88(2.24, 5.81)	3.70(3.60, 3.88)
左眼	40	8.30 $\pm$ 3.31	3.62(2.64, 5.11)	3.26(2.34, 4.65)	3.70(3.60, 3.80)
t/Z 值		17.02	1.11	0.02	0.03
P 值		0.43	0.27	0.98	0.97

注:(a:配对 t 检验;b:Mann-Whitney U 检验)

Note:(a:Paired t -test;b:Mann-Whitney U test)



表 2 手术前后单、双眼视力比较[$M(Q_1, Q_3)$]
Table 2 Comparison of monocular and binocular visual acuity at different time points before and after operation [$M(Q_1, Q_3)$]

时间	单眼 LogMAR 视力 ($n=80$)	双眼 LogMAR 视力 ($n=40$)
术前	3.70(3.60, 3.80)	3.85(3.70, 4.00)
术后 1 周	5.10(5.00, 5.10) ^a	5.10(5.10, 5.20) ^a
术后 1 个月	5.10(5.00, 5.10) ^a	5.10(5.10, 5.20) ^a
术后 3 个月	5.10(5.10, 5.10) ^{ab}	5.20(5.10, 5.20) ^a
术后 6 个月	5.10(5.10, 5.10) ^a	5.20(5.10, 5.20) ^a
χ^2 值	216.25	116.17
P 值	<0.001	<0.001

注:与术前比较,^a $P<0.05$;与术后 1 周比较,^b $P<0.05$ (Friedman M 检验, Wilcoxon 符号秩检验)
Note: Compared with preoperation, ^a $P<0.05$; compared with 1 week postoperation, ^b $P<0.05$ (Friedman M test, Wilcoxon sign rank test)

2.2 手术前后单眼、双眼调节灵敏度比较
单眼及双眼调节灵敏度随术后时间的延长均逐渐升高,升高幅度逐渐降低,逐渐趋于平稳(图 1)。手术前后不同时间点单眼、双眼调节灵敏度总体比较,差异均有统计学意义($F=24.02、14.46$,均 $P<0.001$),其中术后不同时间点单眼调节灵敏度均较术前升高,术后 1、3、6 个月均较术后 1 周升高,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。术后 1、3、6 个月双眼调节灵敏度较术前和术后 1 周升高,术后 3、6 个月较术后 1 个月升高,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)(表 3)。

随着术后时间的延长,单眼和双眼调节时间和放松时间均逐渐缩短,缩短幅度逐渐减小,逐渐趋于平稳(图 2,3)。手术前后不同时间点单眼调节时间、放松时间总体比较差异均有统计学意义($\chi^2=134.59、60.86$,均 $P<0.001$),其中术后不同时间点单眼调节时间和放松时间均较术前缩短,术后 1、3、6 个月单眼调节时间较术后 1 周缩短,术后 3、6 个月单眼放松时间较术后 1 周缩短,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)(表 4)。手术前后不同时间点双眼调节时间、放松时

间总体比较差异均有统计学意义($\chi^2=60.67、59.90$,均 $P<0.001$),其中术后 1、3、6 个月双眼调节时间均较术前和术后 1 周缩短,术后 3、6 个月均较术后 1 个月缩短,术后不同时间点双眼放松时间均较术前缩短,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)(表 5)。

表 3 手术前后单眼、双眼调节灵敏度比较($\bar{x}\pm s, \text{cpm}$)
Table 3 Comparison of monocular and binocular accommodative facility at different time points before and after operation ($\bar{x}\pm s, \text{cpm}$)

时间	单眼调节灵敏度($n=80$)	双眼调节灵敏度($n=40$)
术前	7.99 $\pm$ 3.42	9.01 $\pm$ 3.63
术后 1 周	10.19 $\pm$ 4.25 ^a	9.56 $\pm$ 3.38
术后 1 个月	12.03 $\pm$ 4.24 ^{ab}	11.58 $\pm$ 4.00 ^{ab}
术后 3 个月	13.10 $\pm$ 4.66 ^{ab}	13.31 $\pm$ 3.64 ^{abc}
术后 6 个月	13.64 $\pm$ 4.40 ^{ab}	14.03 $\pm$ 3.72 ^{abc}
F 值	24.02	14.46
P 值	<0.001	<0.001

注:与术前比较,^a $P<0.05$;与术后 1 周比较,^b $P<0.05$;与术后 1 个月比较,^c $P<0.05$ (重复测量单因素方差分析, LSD- t 检验)
Note: Compared with preoperation, ^a $P<0.05$; compared with 1 week postoperation, ^b $P<0.05$; compared with 1 month postoperation, ^c $P<0.05$ (One-way repeated measures ANOVA, LSD- t test)

表 4 手术前后单眼调节时间、放松时间比较[$M(Q_1, Q_3), s$]
Table 4 Comparison of monocular adjustment time and relaxation time at different time points before and after operation [$M(Q_1, Q_3), s$]

时间	例数	调节时间	放松时间
术前	80	3.68(2.87, 5.36)	3.05(2.29, 4.79)
术后 1 周	80	2.97(2.29, 4.34) ^a	2.78(1.82, 4.31) ^a
术后 1 个月	80	2.42(1.91, 3.62) ^{ab}	2.24(1.78, 3.22) ^a
术后 3 个月	80	2.40(1.66, 3.09) ^{abc}	2.17(1.71, 2.99) ^{ab}
术后 6 个月	80	2.18(1.75, 2.87) ^{abc}	2.14(1.60, 2.61) ^{ab}
χ^2 值		134.59	60.86
P 值		<0.001	<0.001

注:与术前比较,^a $P<0.05$;与术后 1 周比较,^b $P<0.05$;与术后 1 个月比较,^c $P<0.05$ (Friedman M 检验, Wilcoxon 符号秩检验)
Note: Compared with preoperation, ^a $P<0.05$; compared with 1 week postoperation, ^b $P<0.05$; compared with 1 month postoperation, ^c $P<0.05$ (Friedman M test, Wilcoxon sign rank test)

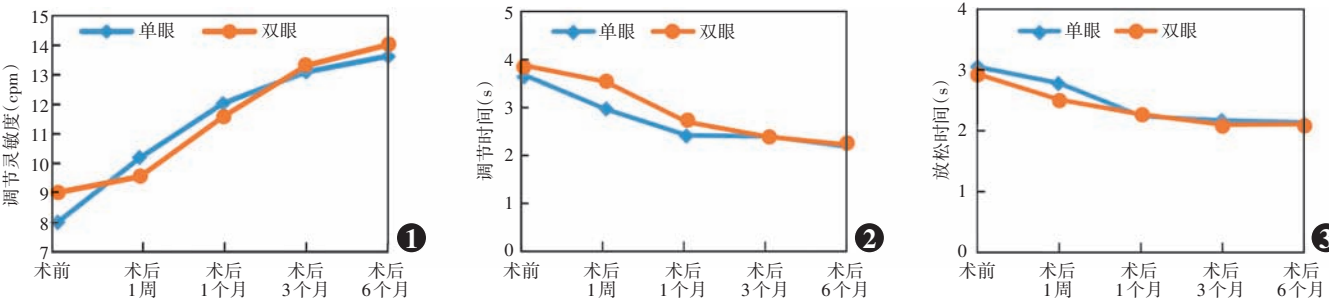


图 1 患者单、双眼调节灵敏度变化趋势 图 2 患者单、双眼调节时间变化趋势 图 3 患者单、双眼放松时间变化趋势
Figure 1 Trend in monocular and binocular accommodative facility Figure 2 Trend in monocular and binocular adjustment time Figure 3 Trend in monocular and binocular relaxation time

表 5 手术前后双眼调节时间和放松时间比较 [$M(Q_1, Q_3), s$]
Table 5 Comparison of binocular adjustment time, relaxation time at different time points before and after operation ($M[Q_1, Q_3], s$)

时间	例数	调节时间	放松时间
术前	40	3.88(2.97, 4.84)	2.93(2.22, 4.25)
术后 1 周	40	3.54(2.81, 5.18)	2.51(1.82, 3.09) ^a
术后 1 个月	40	2.70(2.26, 3.88) ^{ab}	2.27(1.80, 2.73) ^a
术后 3 个月	40	2.39(1.90, 2.98) ^{abc}	2.10(1.70, 2.74) ^a
术后 6 个月	40	2.22(1.80, 3.02) ^{abc}	2.11(1.64, 2.54) ^a
χ^2 值		60.67	59.90
P 值		<0.001	<0.001

注:与术前比较,^a $P < 0.05$;与术后 1 周比较,^b $P < 0.05$;与术后 1 个月比较,^c $P < 0.05$ (Friedman M 检验, Wilcoxon 符号秩检验)

Note: Compared with preoperation, ^a $P < 0.05$; compared with 1 week postoperation, ^b $P < 0.05$; compared with 1 month postoperation, ^c $P < 0.05$ (Friedman M test, Wilcoxon sign rank test)

3 讨论

相对于传统的眼内镜来说, V4c 型 ICL 材料中含有猪胶原蛋白,拥有更好的生物相容性,降低了葡萄膜炎、继发性白内障等术后并发症的发生风险,大大提高了高度近视人群行屈光矫正手术的稳定性、舒适性及满意度。既往研究表明, ICL 植入术后 1 个月开始采用手动翻转拍测量出的调节灵敏度会逐渐升高,甚至超过术前水平,最后逐渐趋于平稳^[3,8],与本研究结果一致。既往对调节灵敏度的测量基本上都是采用传统的手动翻转拍,手动翻转拍费时、麻烦且具有挑战性,该检查过程容易出现各种来源的变异性。iFLIP 翻转拍通过自动翻转、固定自动翻板的透镜位置,提高了测试结果的有效性与准确性,且其对调节灵敏度的评估与传统翻转拍具有高度的一致性^[9]。本研究旨在通过智能翻转拍进一步研究 V4c 型 ICL 术后调节灵敏度的变化,并为智能翻转拍进入临床推广使用提供参考依据。

调节灵敏度是眼球对于外界的不同调节刺激所作出的反应能力,一定程度上反映了调节速度及准确性^[10]。大量研究表明,角膜屈光术后调节灵敏度短期会出现降低,可能是手术引起的角膜早期水肿,使得角膜规则性和对称性下降,层间反应引起的层间光线反射和散射增强,术后的角膜球差增加所致^[11-12]。随着随访时间的延长,角膜水肿消退,调节灵敏度逐渐提高,可恢复到,甚至超过术前水平^[13]。既往也有 ICL 植入术后调节灵敏度短期降低之后逐渐升高的报道^[3]。ICL 植入术后调节功能出现短期降低的原因可能与手术早期引起的应激反应及睫状体暂时性的功能

障碍有关^[14]。而在本研究中无论单双眼,调节灵敏度从术后 1 周开始逐渐升高,升高幅度逐渐减小,逐渐趋于平稳状态。出现调节灵敏度升高的原因可能包括:(1)与术前相比,术后视力显著提高,较好的视觉质量可能使得调节的准确性提高,因此引起调节灵敏度的升高。(2)术后没有镜眼距的影响,使得调节需求增加,从而更多地使用了调节,这相当于对眼的调节进行了训练^[15]。(3)ICL 植入术后,因框架眼镜产生的棱镜效应得以消除,使得集合需求增加,而调节与集合具有联动效应,术后集合需求的增加改善了调节^[16]。双眼调节灵敏度在术后早期比单眼差,在术前及术后中长期均优于单眼,可能与以下因素相关:人类为双眼单视,双眼各自视网膜所呈的像能在大脑产生视知觉,因此,在双眼平衡的过程中要让双眼的调节刺激和调节反应相匹配,以达到双眼平衡的目的,而 ICL 手术改变了原来已建立的视觉平衡,随着时间推移双眼建立了新的双眼单视功能和视觉平衡。

调节时间指人眼在完全放松状态下启动调节到看清近物所用时间。眼由视远到视近过程启动调节功能,引起睫状肌收缩,悬韧带松弛,晶状体厚度增加,使得屈光力加强,进而能够看清近物。老视的形成主要与晶状体硬化失去弹性及睫状肌功能下降引起调节功能下降有关。研究表明,调节功能与年龄明显相关,35 岁及以上人群中老视发生率可达 35%~50%^[17-18]。罗启惠等^[8]的研究也发现,35 岁及以上人群开始出现老视,从而对调节功能造成影响。为避免年龄对研究结果造成影响,本研究选取 33 岁以下人群作为研究对象。智能翻转拍在进行调节灵敏度检查时,正镜模拟看远,即眼完全处于放松状态,负镜模拟看近,即眼处于调节状态,从正镜转换到负镜看清视标的时间即为调节时间。若调节时间过长,说明眼调节力差,储备不够。在本研究中,无论单双眼,术后调节时间均逐渐缩短,幅度逐渐趋于平稳,可能与 ICL 植入术后调节功能改善引起放松到调节的转换加快有关^[4]。在术前及术后较短时间内双眼调节时间长于单眼,术后长期逐渐趋于一致,可能与高度近视患者术前及术后短期内双眼调节与集合的相互作用较差,随着时间推移,调节与集合功能的相互作用得到训练提升相关。iFLIP 智能翻转拍将调节灵敏度具体量化到调节时间与放松时间,可以更直观、深入地观察调节功能的变化。

放松时间指人眼在启动调节视近状态下完全放松到看清远物所用时间。眼由视近到视远过程处于放松状态,睫状肌松弛,悬韧带紧绷,引起晶状体厚度变薄,屈光力减弱,进而能够看清远物^[10]。智能翻转拍进行

测量时从负镜转换到正镜看清视标的时间即为放松时间。放松时间过长,说明眼调节过度,不易放松。本研究单双眼术后放松时间总体上随时间延长逐渐缩短,幅度逐渐趋于平稳,变化趋势基本一致,双眼在术前及术后一段时间内放松时间较单眼缩短,术后中长期与单眼基本一致,这可能与双眼的协调功能使得双眼更容易放松及双眼立体视觉使得视物更清晰有关,具体原因仍需进一步研究。

综上所述,ICL 术后单双眼调节灵敏度逐渐升高,调节时间及放松时间缩短,并逐渐趋于平稳,调节时间及放松时间的双重降低使得调节灵敏度得到明显提升,并随时间的推移逐渐保持平稳。智能翻转拍作为首个将调节灵敏度具体量化为调节、放松用时的检测工具,使我们有了更多的指标来评价调节功能,本研究验证了其在屈光矫正手术过程中调节功能的检测及训练能力,可为其在眼科临床应用方面提供参考。本研究因病例数有限,未能对屈光度进行分组,后期可对不同屈光度对调节功能的影响及术后更长期的变化进行进一步研究。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 周京:参与选题、采集数据、分析/解释数据、起草及修改文章;蒋浩、谷浩:酝酿/设计试验、对文章知识性内容作批评性审阅及智力性修改、文章定稿;龙秀、龙秋蓉:设计试验、分析/解释数据;石昕、陈芷璿:采集数据、分析/解释数据

参考文献

- [1] Liang GL, Wu J, Shi JT, et al. Implantable collamer lens versus iris-fixed phakic intraocular lens implantation to correct myopia: a meta-analysis [J/OL]. *PLoS One*, 2014, 9 (8): e104649 [2024-10-20]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25115906/>. DOI: 10.1371/journal.pone.0104649.
- [2] 施立新,刘彦,施旸,等.中央孔型后房型人工晶状体临床应用有效性及安全性研究[J]. *临床眼科杂志*, 2022, 30 (3): 193-199. DOI: 10.3969/j.issn.1006-8422.2022.03.001.
Shi LX, Liu Y, Shi W, et al. Effectiveness and safety of implantable collamer lens with a central hole for the correction of moderate to high myopia [J]. *J Clin Ophthalmol*, 2022, 30 (3): 193-199. DOI: 10.3969/j.issn.1006-8422.2022.03.001.
- [3] 陈海婷,刘逾,张新桥,等.有晶体眼人工晶状体植入术后视疲劳症状及影响因素[J]. *眼科学报*, 2022, 37 (8): 620-626. DOI: 10.3978/j.issn.1000-4432.2022.08.02.
Chen HT, Liu Y, Zhang XQ, et al. Outcomes of asthenopia after implantable collamer lens implantation and its related factors [J]. *Eye Sci*, 2022, 37 (8): 620-626. DOI: 10.3978/j.issn.1000-4432.2022.08.02.
- [4] 马可,王琳,邱乐梅,等.高度近视眼有晶状体后房型人工晶状体植入术后调节功能变化[J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2015, 17 (8): 471-473. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2015.08.006.
Ma K, Wang L, Qiu LM, et al. The effect of phakic posterior chamber implantable collamer lens implantation on accommodative functions [J]. *Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci*, 2015, 17 (8): 471-473. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2015.08.006.
- [5] Lisa C, Naveiras M, Alfonso-Bartolozzi B, et al. Posterior chamber collagen copolymer phakic intraocular lens with a central hole to correct myopia: one-year follow-up [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2015, 41 (6): 1153-1159. DOI: 10.1016/j.jcrs.2014.10.030.
- [6] Caixia L, Yawen B, Yuxin F, et al. Clinical outcomes of implantation of posterior chamber phakic intraocular lens for pathologic and non-pathologic myopia [J/OL]. *BMC Ophthalmol*, 2023, 23 (1): 172 [2024-10-20]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37085809/>. DOI: 10.1186/s12886-023-02890-9.
- [7] 曹丹.不同屈光矫正后近视眼调节功能的研究[J]. *重庆医科大学学报*, 2010, 35 (7): 1089-1091. DOI: 10.13406/j.cnki.cyx.2010.07.039.
Cao D. Influence of eye adjustment function for different refractive correction of myopia [J]. *J Chongqing Med Univ*, 2010, 35 (7): 1089-1091. DOI: 10.13406/j.cnki.cyx.2010.07.039.
- [8] 罗启惠,刘波,陈利,等.有晶状体后房型人工晶状体植入术对高度近视眼调节功能影响的临床观察[J]. *中华眼科杂志*, 2021, 57 (2): 113-121. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20200319-00201.
Luo QH, Liu B, Chen L, et al. The effects of posterior chamber intraocular lens implantation on accommodative function in high myopia [J]. *Chin J Ophthalmol*, 2021, 57 (2): 113-121. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20200319-00201.
- [9] Wang JY, Chen XR, Peng S, et al. The diagnostic accuracy of the IFLIP system for binocular visual function anomalies assessment [J]. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2023, 27 (12): 5620-5626. DOI: 10.26355/eurev_202306_32802.
- [10] Sivaraman V, Price HC, Hussaindeen JR, et al. Nearwork-induced transient myopia and accommodation function before and after laser-assisted in situ keratomileusis surgery [J]. *Indian J Ophthalmol*, 2021, 69 (7): 1707-1711. DOI: 10.4103/ijo.IJO_3224_20.
- [11] Wilson SE, Mohan RR, Hong JW, et al. The wound healing response after laser in situ keratomileusis and photorefractive keratectomy: elusive control of biological variability and effect on custom laser vision correction [J]. *Arch Ophthalmol*, 2001, 119 (6): 889-896. DOI: 10.1001/archoph.119.6.889.
- [12] Liu M, Chen Y, Wang D, et al. Clinical outcomes after SMILE and femtosecond laser-assisted LASIK for myopia and myopic astigmatism: a prospective randomized comparative study [J]. *Cornea*, 2016, 35 (2): 210-216. DOI: 10.1097/ICO.0000000000000707.
- [13] 李仕明,何曦,翟长斌.重视角膜屈光手术后调节功能的变化及其影响[J]. *中华眼科医学杂志(电子版)*, 2020, 10 (5): 257-261. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-2007.2020.05.001.
Li SM, He X, Zhai CB. Pay attention to the change of accommodation function after corneal refractive surgery and its influence [J]. *Chin J Ophthalmol Med (Electronic Edition)*, 2020, 10 (5): 257-261. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-2007.2020.05.001.
- [14] Kamiya K, Shimizu K, Aizawa D, et al. Time course of accommodation after implantable collamer lens implantation [J]. *Am J Ophthalmol*, 2008, 146 (5): 674-678. DOI: 10.1016/j.ajo.2008.05.049.
- [15] 付晶,王晓贞,王宁利,等.有晶状体后房型人工晶状体植入术后调节相关参数的变化[J]. *中华眼科杂志*, 2013, 49 (7): 633-636. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2013.07.012.
Fu J, Wang XZ, Wang NL, et al. Accommodation parameters after phakic posterior chamber implantable contact lens implantation [J]. *Chin J Ophthalmol*, 2013, 49 (7): 633-636. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2013.07.012.
- [16] Kang P, Watt K, Chau T, et al. The impact of orthokeratology lens wear on binocular vision and accommodation: a short-term prospective study [J]. *Cont Lens Anterior Eye*, 2018, 41 (6): 501-506. DOI: 10.1016/j.clae.2018.08.002.
- [17] Wang C, Wang X, Jin L, et al. Influence of presbyopia on smartphone usage among Chinese adults: a population study [J]. *Clin Exp Ophthalmol*, 2019, 47 (7): 909-917. DOI: 10.1111/ceo.13559.
- [18] Khanna RC, Rao GN. Presbyopia and the sustainable development goals [J/OL]. *Lancet Glob Health*, 2018, 6 (9): e944-e945 [2024-11-11]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30049616/>. DOI: 10.1016/S2214-109X(18)30355-3.

(收稿日期:2024-11-10 修回日期:2025-05-08)

(本文编辑:刘艳 施晓萌)

