

基于扫频源 OCT 技术光学生物测量仪对 IOL 倾斜测量的可行性评价及倾斜特征分析

赵琦¹ 杨文利¹ 李栋军¹ 王子杨¹ 陈伟¹ 李逸丰¹ 崔蕊¹ 沈琳¹ 李蕾¹ 鲜军舫²

¹首都医科大学附属北京同仁医院 北京同仁眼科中心 北京市眼科学与视觉科学重点实验室, 北京 100730; ²首都医科大学附属北京同仁医院放射科, 北京 100730

通信作者: 杨文利, Email: yangwl_tr@163.com

【摘要】 目的 分析基于扫频源光学相干断层扫描(OCT)技术光学生物测量仪 IOLMaster 700 评估人工晶状体(IOL)倾斜测量的可行性、IOL 倾斜特征及相关影响因素。方法 采用横断面研究, 纳入 2018 年 7—9 月于首都医科大学附属北京同仁医院行白内障超声乳化吸除联合 IOL 植入术术后患者 185 例 242 眼, 其中右眼 119 眼, 左眼 123 眼。采用 IOLMaster 700 扫描获取眼内 IOL 位置图像及 κ 角、 α 角、角膜曲率、前房深度(ACD)、瞳孔直径(PD)、眼轴长度(AL)等, 计算 IOL 倾斜方向及幅度。采用合并组内相关标准差及组内相关系数计算法评估 3 次 IOL 倾斜测量的可重复性。采用 Pearson 线性相关分析或 Spearman 秩相关分析评估 IOL 倾斜的双眼对称性及 IOL 倾斜与不同影响因素之间的相关关系。IOL 倾斜影响因素评估采用多元线性回归分析法。结果 IOL 倾斜测量具有较好的可重复性, 合并组内相关标准差 IOL 倾斜方向为 5.16° , IOL 倾斜幅度为 0.13° ; 双眼 IOL 倾斜具有镜像对称性, 右眼 IOL 倾斜方向为 $-89.60 \sim 87.53^\circ$, 平均 $(18.85 \pm 29.65)^\circ$, 倾斜幅度为 $1.32 \sim 7.05^\circ$, 平均 $(4.16 \pm 1.26)^\circ$ 。左眼 IOL 倾斜方向为 $-84.30 \sim 89.44^\circ$, 平均 $(21.17 \pm 32.38)^\circ$, 倾斜幅度为 $0.58 \sim 7.40^\circ$, 平均 $(3.80 \pm 1.31)^\circ$ 。右眼和左眼 IOL 倾斜方向和倾斜幅度之间分别呈中等和弱正相关($r = 0.473, P < 0.001; r = 0.335, P = 0.011$)。IOL 倾斜幅度与 α 角、IOL 屈光度均呈弱正相关($r_s = 0.272, P = 0.003; r = 0.285, P = 0.002$), 与 ACD、PD、AL 呈弱负相关($r = -0.303, P = 0.001; r = -0.233, P = 0.011; r_s = -0.331, P < 0.001$)。将 IOL 倾斜幅度与 α 角、ACD、PD、AL、IOL 屈光度纳入多元线性回归分析, 采用逐步后退法, 建立回归方程为: IOL 倾斜幅度 = $10.503 + 1.456 \times \alpha \text{ 角} - 0.532 \times \text{ACD} - 0.196 \times \text{AL}$ ($R^2 = 0.400; F = 8.588, P < 0.001$)。结论 基于扫频源 OCT 技术光学生物测量仪可作为 IOL 倾斜评估的有效方法。IOL 倾斜双眼存在镜面对称。

【关键词】 白内障; 人工晶状体; 生物测量/仪器; 倾斜; 方向; 幅度; 扫频源光学相干断层扫描/仪器

基金项目: 北京市医院管理局临床医学发展专项项目 (ZYLX201704); 北京市卫生系统高层次人才培养计划学科带头人项目 (2014-2-005)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20210311-00167

Analysis of the feasibility of measurements and characteristics of intraocular lens tilt using swept-source optical coherence tomography biometer

Zhao Qi¹, Yang Wenli¹, Li Dongjun¹, Wang Ziyang¹, Chen Wei¹, Li Yifeng¹, Cui Rui¹, Shen Lin¹, Li Lei¹, Xian Junfang²

¹Beijing Tongren Eye Center, Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University, Beijing Ophthalmology and Visual Science Key Laboratory, Beijing 100730, China; ²Department of Radiology, Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University, Beijing 100730, China

Corresponding author: Yang Wenli, Email: yangwl_tr@163.com

[Abstract] **Objective** To evaluate the feasibility of measurement and characteristics of intraocular lens (IOL) tilt using the swept-source optical coherence tomography (SS-OCT) biometer (IOLMaster 700) and to explore its potentially relevant parameters. **Methods** A cross-sectional study was conducted. Two hundred and forty-two

eyes (119 right eyes, 123 left eyes) of 185 patients after phacoemulsification and IOL implantation were included in Beijing Tongren Hospital from July to September 2018. The IOL position, angle κ , angle α , corneal curvature, anterior chamber depth (ACD), pupil diameter (PD), and axial length (AL) were obtained by IOLMaster 700, and the IOL tilt direction and magnitude were calculated. The within-subject standard deviation and intraclass correlation coefficient were used to evaluate the repeatability of three IOL tilt measurements. Binocular symmetry of IOL tilt and the correlation between IOL tilt and different influencing factors were evaluated by Pearson linear correlation analysis or Spearman rank correlation analysis. Influencing factors for IOL tilt were assessed by multiple linear regression analysis. This study adhered to the Declaration of Helsinki. The study protocol was approved by the Ethics Committee of Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University (No. TRECKY2018-049). Patients were informed of the purpose and methods of this study and signed the written informed consent.

Results The repeatability of IOL tilt measurements was excellent with a within-subject standard deviation of 5.16° for IOL tilt direction and 0.13° for IOL tilt magnitude. IOL tilt was mirror symmetric in both eyes. The IOL tilt direction in right eyes ranged from -89.60° to 87.53° with a mean of $(18.85 \pm 29.65)^\circ$, and the tilt magnitude ranged from 1.32° to 7.05° with a mean of $(4.16 \pm 1.26)^\circ$. The IOL tilt direction in left eyes ranged from -84.30° to 89.44° with a mean of $(21.17 \pm 32.38)^\circ$, and the tilt magnitude ranged from 0.58° to 7.40° with a mean of $(3.80 \pm 1.31)^\circ$. There were moderate and weak positive correlations of IOL tilt direction and tilt magnitude between both eyes ($r = 0.473, P < 0.001; r = 0.335, P = 0.011$). IOL tilt magnitude was weakly positively correlated with angle α and IOL diopter ($r_s = 0.272, P = 0.003; r = 0.285, P = 0.002$), and was weakly negatively correlated with ACD, PD and AL ($r = -0.303, P = 0.001; r = -0.233, P = 0.011; r_s = -0.331, P < 0.001$). In backward stepwise regression analysis, the regression equation of IOL tilt magnitude, angle α , ACD, PD, AL and IOL diopter in multiple linear regression analysis was as follows: IOL tilt magnitude = $10.503 + 1.456 \times \text{angle } \alpha - 0.532 \times \text{ACD} - 0.196 \times \text{AL}$ ($R^2 = 0.400; F = 8.588, P < 0.001$).

Conclusions The SS-OCT biometer can be an effective method to assess IOL tilt. IOL tilt is mirror symmetric between the right eyes and left eyes.

[Key words] Cataract; Lenses, intraocular; Biometry/instrumentation; Tilt; Direction; Magnitude; Swept-source optical coherence tomography/instrumentation

Fund program: Beijing Municipal Administration of Hospitals Clinical Medicine Development (ZYLX201704); Training Project for High Level Talents from Beijing Health System (2014-2-005)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20210311-00167

白内障摘除联合人工晶状体 (intraocular lens, IOL) 植入术后 IOL 处于眼内正确位置是确保术眼最佳视觉质量的主要因素之一。研究发现白内障摘除联合 IOL 植入术后 IOL 常发生倾斜^[1], 倾斜程度以 IOL 轴与相应参考轴之间的角度表示。IOL 倾斜度超过 5° 可能对视觉感受带来较为明显的影响^[2], 尤其是非球面 IOL、复曲面 IOL 和多焦点 IOL 植入眼^[3-8]。近年来, 基于扫频源光学相干断层扫描 (swept source optical coherence tomography, SS-OCT) 技术生物测量仪在临床上应用日趋广泛, 其可对晶状体进行轴位多角度的 B 扫描成像, 故可用于晶状体倾斜的评估^[9-10]。但既往缺乏较大样本针对 IOL 倾斜测量的可重复性、倾斜相关因素等的研究。本研究拟评估 IOLMaster 700 对 IOL 倾斜测量的可重复性, 分析 IOL 的倾斜状态及其影响因素。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用横断面研究设计, 纳入 2018 年 7—9 月在首都医科大学附属北京同仁医院眼科行白内障超声乳化吸除联合 IOL 植入术后患者共 185 例 242 眼, 其中男 76 例, 占 41.1%; 女 109 例, 占 58.9%; 患者平均年龄为 70(64, 78) 岁; 受检眼术后时间平均为 7(5, 9) 个月; 右眼 119 眼, 占 49.2%, 左眼 123 眼, 占 50.8%。受检眼中的 IOL 植入类型为 ZEISS CT ASPHINA 603P 者 44 眼, 占 18.2%; HOYA iSert 251 者 93 眼, 占 38.4%; BAUSCH + LOMB Akreos MI60 者 46 眼, 占 19.0%; LENSTEC Tetraflex HD 者 59 眼, 占 24.4%。植入 IOL 屈光度为 4.0 ~ 30.0 D, 平均 (19.8 ± 3.98) D。手术者医师 1 为 38 眼, 占 15.7%; 医师 2 为 57 眼, 占 23.6%; 医师 3 为 54 眼, 占 22.3%; 医师 4 为 40 眼, 占 16.5%; 医师 5 为 53 眼, 占 21.9%。纳入标准: (1) 白内障超声乳化吸除联合 IOL 植入术后患者; (2) 手术过程顺利且术后无并发症; (3) 可行 IOLMaster 700 检查。排除标准: (1) 检查无法配合、固视不佳者;

(2)裂隙灯显微镜可见 IOL 位置异常者;(3)合并其他眼部疾病,包括严重角膜病变、玻璃体积血、视网膜脱离、黄斑水肿、黄斑前膜等黄斑疾病者。所有受检眼均接受全面眼科检查,包括视力、验光、眼压、裂隙灯显微镜、前置镜检查等,并详细询问既往病史及家族史。本研究遵循《赫尔辛基宣言》,研究方案经首都医科大学附属北京同仁医院伦理委员会批准(批文号: TRECKY2018-049),所有患者均了解本研究目的和方法并自愿签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 IOL 倾斜测量 所有检查由同一位技术熟练的医师完成。采用基于 SS-OCT 技术的 IOLMaster 700 (软件版本 1.5,德国 Carl Zeiss Medirec 公司)进行测量,光源平均波长为 1 055 nm。受检眼处于自然瞳孔状态下且不使用人工泪液。测量时嘱患者注视设备内固视标,采用自动测量模式进行眼生物测量。

1.2.2 测量指标 κ 角:视轴与瞳孔轴的夹角,以角膜顶点与瞳孔中心之间的距离表示; α 角:视轴与光轴的夹角,以角膜顶点与角膜中心之间的距离表示;角膜曲率(keratometry, K)参数:角膜最平坦曲率径线(flattest meridian, Kf)及轴位、最陡峭曲率径线(steepest meridian, Ks);前房深度(anterior chamber depth, ACD):角膜上皮至晶状体前表面的距离;瞳孔直径(pupil diameter, PD):水平 PD;眼轴长度(axial length, AL):角膜上皮至视网膜色素上皮的距离。

1.2.3 IOL 倾斜评估 IOLMaster 700 测量时以 30° 间隔进行 0°、30°、60°、90°、120° 和 150° 轴位的 B 扫描(图 1)。参照文献[9]描述的步骤和方法处理测量数据。将抛物线拟合至 IOL 表面,对抛物线去扭曲以补偿几何失真,重建 IOL 的三维形态。确定 IOL 法向量,即垂直于 IOL 表面并连接 IOL 前表面和后表面顶点的线,并确定 IOL 倾斜方向和幅度,以极坐标系表示(图 2)。以 X 轴(水平)-Y 轴(垂直)平面表示 IOL 向前倾斜方向,数值范围为 -180~180°,左眼原始数据进行水平镜像转换,例如 0° 表示 IOL 鼻侧前倾, -90° 表示 IOL 上方前倾。以 IOL 法向量与 Z 轴(视轴)夹角表示倾斜幅度,数值范围为 0~90°,例如 0° 表示无倾斜, 2° 表示 IOL 前倾 2°。评估指标:(1) IOL 倾斜测量的可重复性 受检眼于同一日内连续测量 3 次,评价 IOL 倾斜测量的可重复性。(2) IOL 倾斜的对称性

选择双眼术后患者,评估双眼间 IOL 倾斜的对称性。(3) IOL 倾斜与影响因素的相关性 选择右眼评估 IOL 倾斜与影响因素的相关性。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 23.0 统计学软件进行统计分析。采用合并组内相关标准差及组内相关系数(intraclass correlation coefficients, ICC)评估 IOL 倾斜测量的可重复性, ICC > 0.80 为一致性好, 0.61~0.80 为一致性中等, 0.41~0.60 为一致性一般, 0.11~0.40 为一致性较差, ≤ 0.10 为无一致性^[11]。采用 Shapiro-Wilk 法对计量资料数据进行正态性检验,满足正态分布的数据资料以 $\bar{x} \pm s$ 进行表达,偏态分布数据资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表达。满足正态分布生物测量参数等与 IOL 倾斜关系采用 Pearson 线性相关分析法,偏态分布生物测量参数等与 IOL 倾斜关系采用 Spearman 秩相关分析法进行检验,并对相关系数进行 t 检验。IOL 倾斜的影响因素评估采用多重线性回归分析法,并对回归方程进行 F 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 受检眼生物测量参数

纳入受检眼 κ 角为 0.19(0.12, 0.30) mm; α 角为 0.39(0.30, 0.49) mm; Kf 为 (43.24 ± 1.54) D, Ks 为 (44.27 ± 1.56) D; 轴位为 107.80(84.48, 149.86)°; ACD 为 (4.42 ± 0.46) mm; PD 为 (3.44 ± 0.67) mm; AL 为 23.36(22.58, 24.57) mm。

2.2 IOLMaster 700 测量 IOL 倾斜的可重复性

随机选取的 30 例 30 眼中,每眼 3 次测量的合并组内相关标准差倾斜方向为 5.16°, 倾斜幅度为



图 1 IOLMaster 700 进行的眼球轴位 B 扫描图像 从左至右可见角膜、虹膜、IOL、视网膜
Figure 1 An axial B-scan image of an eyeball by IOLMaster 700 Cornea, iris, IOL and retina were shown from left to right

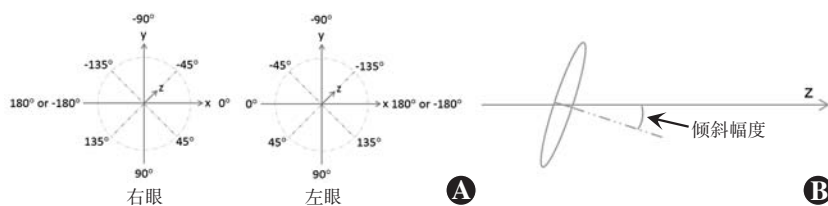


图 2 IOL 倾斜方向与幅度示意图 A: IOL 倾斜方向 B: IOL 倾斜幅度
Figure 2 Schematic diagram of IOL tilt direction and magnitude A: IOL tilt direction B: IOL tilt magnitude

0.13°; ICC 倾斜方向为 0.992 (95% CI: 0.985 ~ 0.996), 倾斜幅度为 0.998 (95% CI: 0.997 ~ 0.999)。测量的一致性均较好。

2.3 IOLMaster 700 测量双眼 IOL 倾斜的对称性

IOLMaster 700 测量右眼与左眼的 IOL 倾斜均位于鼻侧,其部位呈现明显的镜像对称性(图3)。右眼 IOL 倾斜方向为 -89.60 ~ 87.53°, 平均 (18.85 ± 29.65)°; 倾斜幅度为 1.32 ~ 7.05°, 平均 (4.16 ± 1.26)°。左眼 IOL 倾斜方向为 -84.30 ~ 89.44°, 平均 (21.17 ± 32.38)°; 倾斜幅度为 0.58 ~ 7.40°, 平均 (3.80 ± 1.31)°(图3)。双眼术后患者 57 例 114 眼, 右眼和左眼 IOL 倾斜方向和倾斜幅度之间分别呈中等和弱正相关 ($r = 0.473, P < 0.001; r = 0.335, P = 0.011$)(图4)。

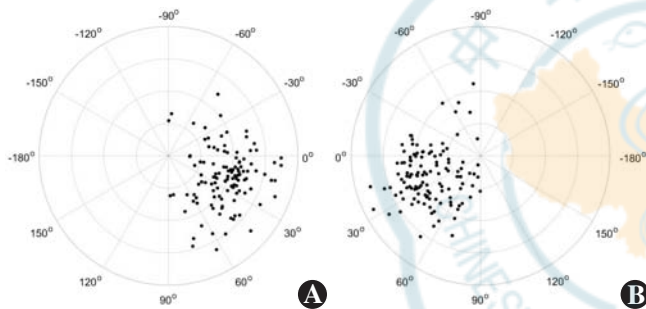


图3 双眼 IOL 倾斜方向与幅度 每一同心环为 1° A:右眼 B:左眼
Figure 3 Tilt direction and magnitude of IOL in both eyes Each concentric ring was 1° A: Right eye B: Left eye

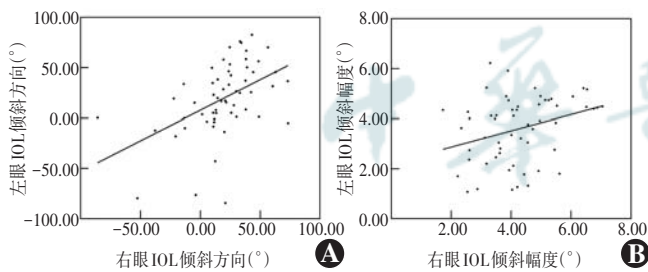


图4 双眼 IOL 倾斜方向与幅度相关性 (Pearson 线性相关分析, $n = 57$) A: 双眼 IOL 倾斜方向呈中等正相关 $r = 0.473, P < 0.001$ B: 双眼 IOL 倾斜幅度呈弱正相关 $r = 0.335, P = 0.011$ IOL: 人工晶体
Figure 4 Correlation between tilt direction and magnitude of IOL in both eyes (Pearson linear correlation analysis, $n = 57$) A: IOL tilt direction was moderately positively correlated between both eyes $r = 0.473, P < 0.001$ B: IOL tilt magnitude was weakly positively correlated between both eyes $r = 0.335, P = 0.011$ IOL: intraocular lens

2.4 IOL 倾斜与生物测量参数的相关性

单因素相关分析显示, IOL 倾斜方向与 IOL 倾斜幅度、年龄、 κ 角、 α 角、Kf 和 Ks、散光轴位、ACD、PD、

AL、IOL 屈光度、IOL 类型、术后时间、手术医师均无明显相关性(均 $P > 0.05$)(表1)。

IOL 倾斜幅度与 α 角、IOL 屈光度均呈弱正相关 ($r_s = 0.272, P = 0.003; r = 0.285, P = 0.002$), 与 ACD、PD、AL 呈弱负相关 ($r = -0.303, P = 0.001; r = -0.233, P = 0.011; r_s = -0.331, P < 0.001$)。与 IOL 倾斜方向、年龄、 κ 角、Kf、Ks、散光轴位、IOL 类型、手术医师均无明显相关性(均 $P > 0.05$)(表1, 图5)。

将 IOL 倾斜幅度与 α 角、ACD、PD、AL、IOL 屈光度纳入多元线性回归分析, 采用逐步后退法, 建立回归方程为: IOL 倾斜幅度 = $10.503 + 1.456 \times \alpha$ 角 - $0.532 \times ACD - 0.196 \times AL$ ($R^2 = 0.400; F = 8.588, P < 0.001$)(表2)。

表1 不同影响因素与 IOL 倾斜方向及幅度的相关性
Table 1 Correlation between different influencing factors, tilt direction and magnitude of IOL

因素	IOL 倾斜方向		IOL 倾斜幅度	
	$r(r_s)$ 值	P 值	$r(r_s)$ 值	P 值
IOL 倾斜幅度(°) ^a	0.137	0.136		
年龄(岁) ^b	-0.170	0.064	-0.068	0.462
κ 角(mm) ^b	-0.072	0.441	-0.039	0.676
α 角(mm) ^b	-0.026	0.780	0.272	0.003
Kf(D) ^a	-0.032	0.729	0.059	0.525
Ks(D) ^a	-0.054	0.565	0.057	0.540
散光轴位(°) ^b	0.068	0.462	0.067	0.474
ACD(mm) ^a	-0.008	0.934	-0.303	0.001
PD(mm) ^a	-0.016	0.866	-0.233	0.011
AL(mm) ^b	-0.016	0.862	-0.331	<0.001
IOL 屈光度(D) ^a	0.098	0.289	0.285	0.002
IOL 类型 ^b	-0.013	0.887	0.146	0.113
术后时间(个月) ^b	-0.008	0.935	0.113	0.666
手术医师 ^b	-0.006	0.948	0.113	0.223

注:(a: Pearson 线性相关分析; b: Spearman 秩相关分析; $n = 119$) IOL: 人工晶体; Kf: 角膜最平坦曲率半径; Ks: 角膜最陡峭曲率半径; ACD: 前房深度; PD: 瞳孔直径; AL: 眼轴长度

Note: (a: Pearson linear correlation analysis; b: Spearman rank correlation analysis; $n = 119$) IOL: intraocular lens; Kf: flattest meridian; Ks: steepest meridian; ACD: anterior chamber depth; PD: pupil diameter; AL: axial length

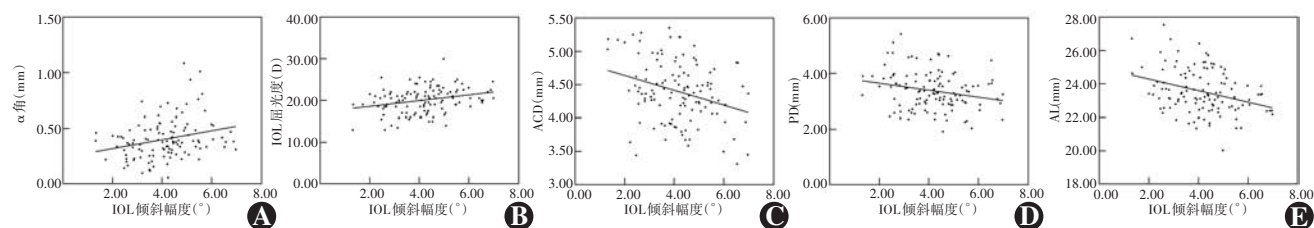


图 5 IOL 倾斜幅度与不同影响因素的相关性 (A、E: Spearman 秩相关分析, $n=119$; B~D: Pearson 线性相关分析, $n=119$) A: IOL 倾斜幅度与 α 角呈弱正相关 $r_s=0.272, P=0.003$ B: IOL 倾斜幅度与 IOL 屈光度呈弱正相关 $r=0.285, P=0.002$ C: IOL 倾斜幅度与 ACD 呈弱负相关 $r=-0.303, P=0.001$ D: IOL 倾斜幅度与 PD 呈弱负相关 $r=-0.233, P=0.011$ E: IOL 倾斜幅度与 AL 呈弱负相关 $r_s=-0.331, P<0.001$ IOL: 人工晶状体; ACD: 前房深度; PD: 瞳孔直径; AL: 眼轴长度

Figure 5 Correlation between IOL tilt magnitude and influencing factors (A, E: Spearman rank correlation analysis, $n=119$; B~D: Pearson linear correlation analysis, $n=119$) A: IOL tilt magnitude was weakly positively correlated with angle α $r_s=0.272, P=0.003$ B: IOL tilt magnitude was weakly positively correlated with IOL diopter $r=0.285, P=0.002$ C: IOL tilt magnitude was weakly negatively correlated with ACD $r=-0.303, P=0.001$ D: IOL tilt magnitude was weakly negatively correlated with PD $r=-0.233, P=0.011$ E: IOL tilt magnitude was weakly negatively correlated with AL $r_s=-0.331, P<0.001$ IOL: intraocular lens; ACD: anterior chamber depth; PD: pupil diameter; AL: axial length

表 2 α 角、ACD、AL 对 IOL 倾斜幅度影响的多元线性回归分析
Table 2 Multiple linear regression analysis of the influence of angle α , ACD and AL on IOL tilt magnitude

项目	非标准化回归系数		标准化系数 β	t 值	P 值
	偏回归系数 B	标准误			
常数	10.502	1.984	-	5.293	<0.001
α 角 (mm)	1.456	0.593	0.216	2.455	0.016
ACD (mm)	-0.532	0.249	-0.198	-2.136	0.035
AL (mm)	-0.196	0.087	-0.215	-2.261	0.026

注: ACD: 前房深度; AL: 眼轴长度; IOL: 人工晶状体; -: 无数据
Note: ACD: anterior chamber depth; AL: axial length; IOL: intraocular lens; -: no data

3 讨论

既往对于晶状体或 IOL 倾斜和偏心的研究多参考虹膜平面、瞳孔中心、巩膜突等进行位置确认^[12-15], 其主要不足是无法确定测量图像沿视轴获取。而基于 SS-OCT 技术的光学生物测量仪 IOLMaster 700 可以获得沿视轴的全眼 B 扫描 OCT 图像用于生物测量, 在准确监测黄斑注视的情况下, 获取晶状体或 IOL 眼内位置。

研究已证实 Purkinje 图像分析在 IOL 倾斜测量及 SS-OCT 设备在晶状体倾斜测量的可重复性^[10,16]。本研究则以较大样本验证了 IOLMaster 700 在 IOL 倾斜方向及倾斜幅度测量方面均具有较好的可重复性, 为进一步研究奠定了基础。

本研究结果显示, 双眼 IOL 倾斜具有明显的镜面对称性, 且双眼的倾斜方向之间和倾斜幅度之间均明显相关。双眼 IOL 鼻侧前倾, 明确黄斑中央凹相对于瞳孔轴略偏颞侧^[17]。从而进一步证实黄斑注视时视轴与瞳孔轴或光轴的轻度倾斜^[9]。既往研究表明, IOL 平均倾斜幅度为 2.6~6.03°^[12,18-20]。本研究中,

双眼 IOL 平均倾斜幅度分别为 3.80° 和 4.16°, 与既往研究相近但存在差异。使用不同的参考轴可导致 IOL 倾斜结果出现明显差异^[21]。既往研究多使用瞳孔轴评估 IOL 倾斜情况^[12,22], 而瞳孔容易受到光照强度、双眼视、调节辐辏、年龄等多种因素影响, 从而导致瞳孔中心的不稳定性^[23]; 更新的设备和研究则多采用角膜顶点和视轴作为参考轴^[24-25]。在本研究中, IOL 倾斜计算采用更为精准监测下的视轴作为参考轴, 更符合视觉生理状态, 避免了瞳孔变化所产生的影响^[24]。

本研究纳入了多种相关因素, 包括年龄、 κ 角、 α 角、Kf、Ks、散光轴位、ACD、PD、AL、IOL 屈光度、IOL 类型、术后时间、手术医师, 更为全面地分析了各种因素与 IOL 倾斜的相关性。进一步的多元线性回归分析结果显示, IOL 倾斜幅度与 α 角呈正相关, 而与 ACD、AL 均呈负相关。

屈光性白内障手术 IOL 选择中, α 角是需要考虑的重要因素。 α 角定义为视轴与光轴的角距, 可以用角膜顶点与角膜中心的距离表示。IOL 设计为使其在囊袋内居中, 此时 IOL 中心多与光轴同轴, 使用 α 角更能反映 IOL 中心与视轴的偏离程度。本研究中 IOL 倾斜幅度与 α 角呈正相关, 与 Wang 等^[10] 研究 IOL 倾斜幅度与 α 角和 κ 角均呈正相关存在差异。考虑到术前晶状体倾斜幅度仅与 α 角相关, 且与术后 IOL 倾斜幅度相关, 不能除外此差异与 κ 角具有相对较大的变异有关^[9-10,26]。

IOL 倾斜与术前 ACD 呈负相关已在既往研究中得到证实^[9-10], 而本研究发现 IOL 倾斜与术后 ACD 亦呈负相关。白内障超声乳化吸除术后 ACD 较术前加深^[27-28], 且与术前 ACD 呈反比^[28]。术后 ACD 数据获取更为灵活方便, 可以在随访中提供一定的参考价值,

其与 IOL 偏斜的关系尚需进一步研究。

本研究发现 IOL 倾斜与 AL 呈负相关,与既往研究一致^[10,29]。相对于长 AL 患者,短 AL 患者 IOL 倾斜更为明显。而在长 AL 的高度近视眼中,一般认为晶状体悬韧带薄弱,可能无法保持 IOL 稳定性,使其更易受到重力和头部位置的影响,导致 IOL 位置异常,如 IOL 下沉,并降低术后视觉质量^[30]。长 AL 对 IOL 偏心的影响可能较 IOL 倾斜更为密切^[29]。

本研究也存在着一些局限性。首先,样本量仍较小,IOL 屈光度、IOL 类型等因素与 IOL 倾斜相关性可能会被低估。其次,既往研究认为 IOL 位置可能与术后时间有一定的关系^[25],而回顾性研究无法分析 IOL 倾斜的长期变化。因此,有必要进行大规模且长期的前瞻性研究以验证本研究结果。另外,既往研究认为即使 IOL 在眼内居中且稳定性良好,仍可能无法避免 IOL 倾斜和偏心^[31]。人眼自然晶状体偏心能够补偿像差^[32],IOL 倾斜及偏心是否存在积极意义,也有待进一步研究。

综上,本研究结果表明,基于 SS-OCT 技术的光学生物测量仪 IOLMaster 700 在基于 B 扫描进行生物测量的同时,可以准确、便捷地获取 IOL 位置信息,可用作 IOL 倾斜评估的一种方法。IOL 倾斜双眼存在镜面对称性,眼生物测量参数等相关性分析可帮助预测 IOL 倾斜并提高术后视觉质量。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 赵琦:参与选题、设计及实施研究、采集数据、撰写文章;杨文利、鲜军舫:参与设计研究、文章知识性内容的审阅和智力性内容的修改及定稿;李栋军、王子杨、陈伟、李逸丰、崔蕊、沈琳:实施研究、采集数据;李蕾:分析/解释数据

参考文献

- [1] Ale JB. Intraocular lens tilt and decentration: a concern for contemporary IOL designs [J]. Nepal J Ophthalmol, 2011, 3 (1) : 68-77. DOI:10.3126/nepjoph.v3i1.4281.
- [2] Korynta J, Bok J, Cendelin J, et al. Computer modeling of visual impairment caused by intraocular lens misalignment [J]. J Cataract Refract Surg, 1999, 25(1) : 100-105. DOI:10.1016/s0886-3350(99)80019-4.
- [3] Rosales P, De Castro A, Jiménez-Alfaro I, et al. Intraocular lens alignment from purkinje and Scheimpflug imaging [J]. Clin Exp Optom, 2010, 93(6) : 400-408. DOI:10.1111/j.1444-0938.2010.00514.x.
- [4] Montés-Micó R, López-Gil N, Pérez-Vives C, et al. *In vitro* optical performance of nonrotational symmetric and refractive-diffractive aspheric multifocal intraocular lenses: impact of tilt and decentration [J]. J Cataract Refract Surg, 2012, 38(9) : 1657-1663. DOI:10.1016/j.jcrs.2012.03.040.
- [5] Weikert MP, Golla A, Wang L. Astigmatism induced by intraocular lens tilt evaluated via ray tracing [J]. J Cataract Refract Surg, 2018, 44(6) : 745-749. DOI:10.1016/j.jcrs.2018.04.035.
- [6] Lawu T, Mukai K, Matsushima H, et al. Effects of decentration and tilt

on the optical performance of 6 aspheric intraocular lens designs in a model eye [J]. J Cataract Refract Surg, 2019, 45(5) : 662-668. DOI:10.1016/j.jcrs.2018.10.049.

- [7] Pérez-Gracia J, Varea A, Ares J, et al. Evaluation of the optical performance for aspheric intraocular lenses in relation with tilt and decenter errors [J/OL]. PLoS One, 2020, 15(5) : e0232546 [2022-06-13]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7197786/>. DOI:10.1371/journal.pone.0232546.
- [8] 徐雯,李茜.重视 Toric 人工晶状体应用误差来源分析和控制 [J]. 中华实验眼科杂志, 2018, 36(3) : 165-168. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2018.03.002.
- Xu W, Li Q. Paying attention to the analysis and control of errors of Toric intraocular lens application [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2018, 36(3) : 165-168. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2018.03.002.
- [9] Hirschschall N, Buehren T, Bajramovic F, et al. Prediction of postoperative intraocular lens tilt using swept-source optical coherence tomography [J]. J Cataract Refract Surg, 2017, 43(6) : 732-736. DOI:10.1016/j.jcrs.2017.01.026.
- [10] Wang L, Guimaraes de Souza R, Weikert MP, et al. Evaluation of crystalline lens and intraocular lens tilt using a swept-source optical coherence tomography biometer [J]. J Cataract Refract Surg, 2019, 45(1) : 35-40. DOI:10.1016/j.jcrs.2018.08.025.
- [11] Shrout PE. Measurement reliability and agreement in psychiatry [J]. Stat Methods Med Res, 1998, 7(3) : 301-317. DOI:10.1177/096228029800700306.
- [12] de Castro A, Rosales P, Marcos S. Tilt and decentration of intraocular lenses *in vivo* from Purkinje and Scheimpflug imaging. Validation study [J]. J Cataract Refract Surg, 2007, 33(3) : 418-429. DOI:10.1016/j.jcrs.2006.10.054.
- [13] Mura JJ, Pavlin CJ, Condon GP, et al. Ultrasound biomicroscopic analysis of iris-sutured foldable posterior chamber intraocular lenses [J]. Am J Ophthalmol, 2010, 149(2) : 245-252. DOI:10.1016/j.ajo.2009.08.022.
- [14] Wang X, Dong J, Wang X, et al. IOL tilt and decentration estimation from 3 dimensional reconstruction of OCT image [J/OL]. PLoS One, 2013, 8(3) : e59109 [2022-06-19]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23554982/>. DOI:10.1371/journal.pone.0059109.
- [15] Xin C, Bian GB, Zhang H, et al. Optical coherence tomography-based deep learning algorithm for quantification of the location of the intraocular lens [J/OL]. Ann Transl Med, 2020, 8(14) : 872 [2022-06-19]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7396772/>. DOI:10.21037/atm-20-4706.
- [16] Janunts E, Chashchina E, Seitz B, et al. Reliability of a single light source Purkinjemet in pseudophakic eyes [J]. Optom Vis Sci, 2015, 92(8) : 884-891. DOI:10.1097/OPX.0000000000000644.
- [17] Chang DH, Waring GO 4th. The subject-fixated coaxially sighted corneal light reflex: a clinical marker for centration of refractive treatments and devices [J]. Am J Ophthalmol, 2014, 158(5) : 863-874. DOI:10.1016/j.ajo.2014.06.028.
- [18] Baumeister M, Neidhardt B, Strobel J, et al. Tilt and decentration of three-piece foldable high-refractive silicone and hydrophobic acrylic intraocular lenses with 6-mm optics in an intraindividual comparison [J]. Am J Ophthalmol, 2005, 140(6) : 1051-1058. DOI:10.1016/j.ajo.2005.07.026.
- [19] Mutlu FM, Erdurman C, Sobaci G, et al. Comparison of tilt and decentration of 1-piece and 3-piece hydrophobic acrylic intraocular lenses [J]. J Cataract Refract Surg, 2005, 31(2) : 343-347. DOI:10.1016/j.jcrs.2004.06.022.
- [20] Findl O, Hirschschall N, Nishi Y, et al. Capsular bag performance of a hydrophobic acrylic 1-piece intraocular lens [J]. J Cataract Refract Surg, 2015, 41(1) : 90-97. DOI:10.1016/j.jcrs.2014.04.030.
- [21] Zhang F, Zhang J, Li W, et al. Correlative comparison of three ocular axes to tilt and decentration of intraocular lens and their effects on visual acuity [J]. Ophthalmic Res, 2020, 63(2) : 165-173. DOI:10.

- 1159/000504716.
- [22] Nishi Y, Hirschall N, Crnej A, et al. Reproducibility of intraocular lens decentration and tilt measurement using a clinical Purkinje meter[J]. J Cataract Refract Surg, 2010, 36(9): 1529-1535. DOI: 10.1016/j.jcrs.2010.03.043.
- [23] 刘春雷, 黄芳, 俞阿勇, 等. 应用三维眼前节分析仪对单片式折叠型人工晶状体在眼内位置分布规律的研究[J]. 中华实验眼科杂志, 2011, 29(10): 913-917. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2011.10.011.
- Liu CL, Huang F, Yu AY, et al. Analysis of position of one-piece soft intraocular lens after implantation of intraocular lens with Pentacam[J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2011, 29(10): 913-917. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2011.10.011.
- [24] Kimura S, Morizane Y, Shiode Y, et al. Assessment of tilt and decentration of crystalline lens and intraocular lens relative to the corneal topographic axis using anterior segment optical coherence tomography[J/OL]. PLoS One, 2017, 12(9): e0184066 [2022-06-20]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5581187/>. DOI: 10.1371/journal.pone.0184066.
- [25] Sato T, Shibata S, Yoshida M, et al. Short-term dynamics after single- and three-piece acrylic intraocular lens implantation: a swept-source anterior segment optical coherence tomography study[J/OL]. Sci Rep, 2018, 8(1): 10230 [2022-06-23]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6035277/>. DOI: 10.1038/s41598-018-28609-1.
- [26] Harter A, Hirschall N, Taberner J, et al. Variability in angle κ and its influence on higher-order aberrations in pseudophakic eyes[J]. J Cataract Refract Surg, 2017, 43(8): 1015-1019. DOI: 10.1016/j.jcrs.2017.05.028.
- [27] Ang GS, Duncan L, Atta HR. Ultrasound biomicroscopic study of the stability of intraocular lens implants after phacoemulsification cataract surgery[J]. Acta Ophthalmol, 2012, 90(2): 168-172. DOI: 10.1111/j.1755-3768.2010.01880.x.
- [28] 章玉群, 徐巍华, 田琳璐, 等. 年龄相关性白内障超声乳化吸出联合人工晶状体植入术后 Pentacam 眼前节分析[J]. 国际眼科杂志, 2011, 11(2): 235-239. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5123.2011.02.12.
- Zhang YQ, Xu WH, Tian LL, et al. Analysis of anterior segment of age-related cataract after phacoemulsification combined with intraocular lens implantation by Pentacam[J]. Int Eye Sci, 2011, 11(2): 235-239. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5123.2011.02.12.
- [29] Chen X, Gu X, Wang W, et al. Characteristics and factors associated with intraocular lens tilt and decentration after cataract surgery[J]. J Cataract Refract Surg, 2020, 46(8): 1126-1131. DOI: 10.1097/j.jcrs.0000000000000219.
- [30] Zhu X, He W, Zhang Y, et al. Inferior decentration of multifocal intraocular lenses in myopic eyes[J]. Am J Ophthalmol, 2018, 188: 1-8. DOI: 10.1016/j.ajo.2018.01.007.
- [31] Kránitz K, Miháltz K, Sándor GL, et al. Intraocular lens tilt and decentration measured by Scheimpflug camera following manual or femtosecond laser-created continuous circular capsulotomy[J]. J Refract Surg, 2012, 28(4): 259-263. DOI: 10.3928/1081597X-20120309-01.
- [32] Artal P, Guirao A, Berrio E, et al. Compensation of corneal aberrations by the internal optics in the human eye[J]. J Vis, 2001, 1(1): 1-8. DOI: 10.1167/1.1.1.

(收稿日期:2023-01-11 修回日期:2023-05-02)

(本文编辑:刘艳 施晓萌)

读者·作者·编者

本刊对来稿中计量单位的使用要求

计量单位 计量单位的使用执行 GB 3100/3101/3102-1993《国际单位制及其应用/有关量、单位和符号的一般原则/(所有部分)量和单位》的有关规定,具体执行可参照中华医学会杂志社编写的《法定计量单位在医学上的应用》第3版(人民军医出版社2001年出版)。作者在撰写论文时应注意单位名称与单位符号不可混用。组合单位符号中表示相除的斜线为2条时本刊采用 $\text{ng}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ 的形式,而不用 $\text{ng}/\text{kg}/\text{min}$ 的形式。应尽可能使用单位符号,也可以与非物理单位(如:人、次、台等)的汉字构成组合形式的单位,如:次/min。在叙述中请先列出法定计量单位数值,括号内写旧制单位数值;如果同一计量单位反复出现,可在首次出现时注明法定计量单位与旧制单位的换算系数,然后只列出法定计量单位数值。参量及其公差均需附单位,当参量与其公差的单位相同时,单位可只写1次,即加圆括号将数值组合,置共同单位符号于全部数值之后。例如:“ $75.4 \text{ ng}/\text{L} \pm 18.2 \text{ ng}/\text{L}$ ”可以表示为“(75.4 ± 18.2) ng/L ”。量的符号一律用斜体字,如吸光度(旧称光密度)的符号为 A 。

根据国家质量技术监督局和卫生部联合发出的质技监局函[1998]126号文件《关于血压计量单位使用规定的补充通知》,凡是涉及人体及动物体内的压力测定,可以使用毫米汞柱(mmHg)或厘米水柱(cmH_2O)为计量单位,但首次使用时应注明 mmHg 或 cmH_2O 与 kPa 的换算系数($1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$, $1 \text{ cmH}_2\text{O} = 0.098 \text{ kPa}$)。

本刊对基金项目的证明和著录要求

文稿所涉及的课题如为国家级、部级、省级等基金资助项目,请分别用中英文表述并分别列于文章中英文摘要关键词之下,“基金项目:”进行标识,并注明基金项目名称,并在圆括号内注明基金项目编号。基金项目名称应按国家有关部门规定的正式名称填写,多个基金资助的项目请全部列出,按资助机构的等级顺序排列,并以“;”隔开。如:基金项目:国家自然科学基金项目(30271269);国家重点基础研究发展规划(973计划)(2013CB532002);Fund program:National Natural Science Foundation of China(30271269);National Key Basic Research Program of China(973 Program)(2013CB532002)。获得基金项目资助的论文投稿时需提供基金项目资助证明的复印件或扫描后发至编辑部信箱。

(本刊编辑部)