

引文格式:许衍辉,孟克青,刘晓静,陈雨梦,郭雨语,李佳鱼,等.晶状体囊袋直径与囊袋张力环匹配度对高度近视患者 Toric IOL 旋转稳定性的影响[J].眼科新进展,2025,45(9):725-730. doi:10.13389/j.cnki.rao.2025.0125

【应用研究】

晶状体囊袋直径与囊袋张力环匹配度对高度近视患者 Toric IOL 旋转稳定性的影响[△]

许衍辉 孟克青 刘晓静 陈雨梦 郭雨语 李佳鱼 陈志敏

作者简介:许衍辉(ORCID:0009-0006-1543-3740),女,1981年8月出生,河北邢台人,副主任医师。研究方向:白内障,晶状体疾病。E-mail:XuYH11525@163.com

收稿日期:2025-04-09

修回日期:2025-07-03

本文编辑:盛丽娜,郑成铭

△基金项目:邢台市重点研发计划自筹项目(编号:2024ZC132)

作者单位:054000 河北省邢台市,河北省眼科医院 河北省眼科重点实验室 河北省眼部疾病临床医学研究中心 白内障科(许衍辉,孟克青,陈志敏);050017 河北省石家庄市,河北医科大学眼科学教研室(刘晓静,陈雨梦,郭雨语,李佳鱼)

【摘要】 目的 评估晶状体囊袋直径与囊袋张力环(CTR)匹配度对高度近视性白内障患者散光矫正型人工晶状体(Toric IOL)术后旋转稳定性及视功能的影响,并探讨主要影响因素。**方法** 前瞻性纳入2023年9月至2024年3月于河北省眼科医院白内障科行超声乳化白内障摘除联合Toric IOL植入的高度近视患者(眼轴长度 ≥ 26 mm)100眼。根据晶状体前节OCT(CASIA2)测量所得的囊袋等效直径与CTR标准直径比值将受试眼分为匹配组(比值为0.8~1.2)与不匹配组。术后1周、1个月、3个月、6个月及12个月随访,观察Toric IOL旋转角度、残余散光、裸眼视力等指标,并根据术中及随访期内出现的并发症情况评估安全性。采用相关分析及多元线性回归探讨囊袋-CTR匹配度、角膜散光度、眼轴长度等因素对Toric IOL旋转及术后屈光状态的影响。**结果** 匹配组患术后各时间点平均IOL旋转角度均显著小于不匹配组,术后不同时间点组间差异均有统计学意义(均为 $P < 0.05$)。匹配组患眼IOL偏心距离和倾斜角度表现出更好稳定性。术后12个月,匹配组患眼残余散光为 (0.53 ± 0.29) D,优于不匹配组 (0.71 ± 0.34) D($P = 0.008$)。匹配组患眼裸眼视力改善更明显,视觉质量主观评分更高。多元线性回归分析显示:囊袋-CTR匹配度及术前角膜散光度是影响Toric IOL旋转角度($R^2 = 0.52$)及残余散光度($R^2 = 0.46$)的主要独立因素。**结论** 高度近视性白内障患者基于CASIA2测量实现精准囊袋-CTR匹配有助于改善Toric IOL旋转稳定性,减少残余散光度,提高术后视觉质量。个性化CTR型号选择值得推广应用。

【关键词】 高度近视;囊袋-CTR匹配度;散光矫正型人工晶状体;旋转稳定性

【中图分类号】 R776

散光矫正型人工晶状体(Toric IOL)是目前治疗合并角膜散光白内障患者的重要选择,其散光矫正效果显著^[1-2]。研究显示,Toric IOL的术后旋转会削弱散光矫正效果,使部分患者的视力得不到理想改善^[3-5]。有研究报道,高度近视眼球往往表现出前后节解剖结构的特殊变化,包括晶状体囊袋容积增大与囊膜延展性上升^[6];在进行Toric IOL植入时,高度近视眼球的囊袋解剖特征变化(包括容积增大与囊膜延展性上升)使得术后更容易发生不均匀的纤维组织增殖和囊袋收缩,这些病理性变化继而增加植入物旋转的可能^[7]。已有研究尝试通过植入囊袋张力环(CTR)改善囊袋形态和应力分布,减少后期收缩不均所导致的IOL移动^[8]。现有文献表明,CTR植入后的确有助于维持囊袋饱满度与形态稳定性^[9],但对具体尺寸差异、匹配度阈值等问题缺乏进一步探讨。

高度近视引发的囊袋扩张在术前往往难以准确评估。超声生物测量在预测眼轴长度及前房深度方面的应用已较为成熟,但对部分患者的囊袋容积和伸展性的评估仍存在局限。OCT设备的快速发展为囊袋测量提供了新的技术手段,尤其在前节OCT基础上升级而成的CASIA2等系统,可为囊袋的等效直

径提供精细化图像和多方位断层测量,有助于更准确地选择CTR型号^[10]。理论上,若CTR在维持囊袋圆形稳定时能与囊袋大小相当,人工晶状体(IOL)光学区与囊袋整体接触分布将更为均匀,纤维增殖与收缩力呈相对对称状态。反之,若CTR与囊袋失配程度较高,局部应力集中或撑袋不足现象容易发生,导致Toric IOL旋转风险升高。

既往研究多关注CTR对术后囊袋稳定性的总体影响^[11],针对高度近视人群的研究相对不足,匹配度干预策略缺乏统一的算法,也缺少关于旋转稳定性与视觉质量提升之间的量化证据。基于此,本研究采用前瞻性队列研究方案,结合CASIA2的囊袋测量技术,对比不同囊袋直径与CTR直径比值的人群在Toric IOL的旋转幅度、视觉质量、残余散光以及囊袋附着率等方面的变化,旨在为高度近视人群Toric IOL植入提供更具针对性的手术规划依据与循证支持。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究为前瞻性、单中心研究,采用连续入组方式,纳入河北省眼科医院白内障科于2023年9月至

2024年3月确诊为高度近视性白内障并符合白内障手术指征的患者,初始纳入78例108眼,排除因后囊膜破裂、严重虹膜粘连和无法完成术前测量等因素影响的患眼,最终纳入72例100眼。入组标准:(1)年龄 ≥ 18 岁,诊断为高度近视性白内障(眼轴长度 ≥ 26 mm);(2)术前角膜散光 ≥ 1.25 D,拟行Toric IOL植入术;(3)眼部结构及晶状体状态可通过CASIA2准确测量。排除标准:(1)曾行角膜屈光手术、圆锥角膜或其他病理性角膜导致角膜曲率异常;(2)晶状体半脱位或严重周边虹膜粘连,影响囊袋测量或CTR植入的患者;(3)存在影响视力评估的严重眼底病变(如高度近视黄斑劈裂、严重玻璃体视网膜病变等);(4)既往行白内障手术失败或有其他明显改变囊袋解剖结构的手术史;(5)活动性眼内炎症或严重干眼症等无法保证准确测量者。研究方案依据医学伦理原则由河北省眼科医院伦理委员会审核通过(批号:2022LW10)。所有受试者充分理解与手术相关的注意事项与潜在风险后签署知情同意书,研究过程遵循《赫尔辛基宣言》伦理准则。

1.2 研究分组与手术流程

术前采用复方托吡卡胺滴眼液散瞳(每5 min一次,共3次),充分散瞳后利用CASIA2平台对晶状体囊袋进行多角度扫描,测量囊袋等效直径和前房深度。CTR选用爱博诺德(北京)医疗科技股份有限公司产品,根据囊袋直径选择型号:当等效直径 ≤ 12.5 mm时选用CTR1210(总直径12 mm,压缩直径10 mm), > 12.5 mm时选用CTR1311(总直径13 mm,压缩直径11 mm)。将囊袋直径与CTR标称直径的比值 $0.8 \sim 1.2$ 界定为匹配组($n = 50$),超出该区间为不匹配组($n = 50$)。IOL统一选用Abbott Medical Optics公司的Tecnis Toric IOL(型号分布:ZCT225 35例、ZCT300 45例、ZCT400 20例),其光学参数覆盖球镜 $+5.0 \sim +18.0$ D,柱镜 $+1.0 \sim +4.0$ D。晶状体度数设计综合考量角膜散光度、前房深度及角膜顶点位置,通过术前生物学测量和轴向标记确保IOL植入定位准确。

所有手术均由同一位经验丰富的主任医师完成。术前采用角膜地形图(Pentacam HR, OCULUS)测量角膜散光轴位,在裂隙灯下使用Mendez环标记散光轴位,并在术中显微镜下用精细标记笔在角膜缘标记 $0^\circ \sim 180^\circ$ 参考轴线。Toric IOL植入时,严格按照术前设计的轴位进行精确对位,使用黏弹剂缓慢旋转IOL至目标位置,确保轴位偏差 $< 5^\circ$ 后清除黏弹剂。超声乳化白内障摘除术前行常规的术前眼科检查和消毒准备,并在角膜缘附近制作透明角膜切口。撕囊直径范围控制在 $5.0 \sim 5.5$ mm,使大部分未硬化或轻中度硬化的晶状体核能够顺利乳化。乳化完成后清除皮质并保持前房稳定,然后在囊袋

内植入按照分组所选取型号的CTR,确保其圆周部分顺畅展开并贯通于囊袋周端。Toric IOL植入时在晶状体囊袋内缓慢展开光学区与襻部,依据术前所确定的散光轴线进行准确对位。术毕时常规注入黏弹剂冲洗液排尽,仔细检查切口密闭情况并在必要时进行缝合或水封。术中记录CTR与IOL的型号、度数、轴向设计和植入细节,包括撕囊口是否规则、后囊膜或悬韧带有无异常、IOL在囊袋内的初步对位以及CTR展开情况等。同时记录乳化过程中是否出现后囊膜破裂或虹膜损伤等并发症,并及时作出相应处理。

1.3 观察指标和随访

1.3.1 主要观察指标

主要观察指标聚焦于Toric IOL的旋转稳定性以及术后屈光状态。旋转稳定性基于角膜地形图系统对散光轴向进行固定时间点的测量,将不同随访阶段与术后当日记录的轴位对比,计算旋转角度的差异。残余散光采用综合验光评估,并在相同环境光照条件下重复测量,取平均值作为记录结果。IOL的偏心距离和倾斜角度采用CASIA2测量,偏心距离定义为IOL光学中心相对于瞳孔中心的位移距离,倾斜角度定义为IOL光学轴相对于视轴的夹角。裸眼视力与最佳矫正视力均在5 m处的标准对数视力表进行检测。

1.3.2 次要观察指标

次要观察指标包括囊袋形态学状态和主观视觉质量。囊袋形态使用眼前节OCT评估,包括CTR在囊袋内的定位、后囊膜与悬韧带的完整性以及可能出现的囊袋收缩特征、后囊膜混浊(PCO)。主观视觉质量采用改良的视觉质量问卷(VQQ)评估患者对包括夜间眩光、光晕、远/中/近距离视觉清晰度的感知程度及整体满意度,并转换为量化总分。以 $1 \sim 5$ 分为评分等级(分值越高表明患者感受越负面),将得分按反向换算处理并进行加权汇总,最终以 $0 \sim 100$ 分表示综合视觉质量(数值越高代表患者对视觉质量越满意)。

1.3.3 随访

术后1周、1个月、3个月、6个月和12个月随访,每次随访均完成上述主要和次要指标的检测。100例患者中,87例完成全部5次随访,13例因个人原因在术后6个月后失访,对于缺失数据采用末次观察值结转法处理。

1.4 统计学分析

采用SPSS 26.0软件进行统计学分析,定量资料首先接受正态性检验,通过后以均数 $\pm$ 标准差表示,并使用独立样本 t 检验对2组患眼间的差异进行对比;不服从正态分布的定量资料以中位数与四分位数间距表示,采用Mann-Whitney U 检验比较。对于

多次随访所得的重复测量数据进行重复测量方差分析。对 Toric IOL 旋转角度和屈光度数等变量的关联分析采用 Pearson 相关性分析,并将有统计学意义的自变量采用逐步法(Forward)纳入多元线性回归模型以排除混杂影响。定性资料以频数和构成比描述,使用 χ^2 检验。研究中采用双侧检验,检验水准: $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 一般资料

本研究共纳入高度近视性白内障患者 72 例 100 眼,其中匹配组 50 眼、不匹配组 50 眼。2 组患者间年龄、性别、角膜散光度、眼轴长度差异均无统计学意义(均为 $P>0.05$)。不匹配组患眼囊袋直径显著大于匹配组($P<0.001$)(表 1)。

表 1 基线人口学特征和术前眼部参数比较

指标	匹配组	不匹配组	t/χ^2	P
年龄/岁	56.21 $\pm$ 8.12	57.34 $\pm$ 8.98	0.631	0.532
性别(男,女)/例	28,22	26,24	0.162	0.688
囊袋直径/mm	9.82 $\pm$ 0.33	10.28 $\pm$ 0.37	6.378	<0.001
角膜散光度/D	2.12 $\pm$ 0.30	2.16 $\pm$ 0.33	0.641	0.523
眼轴长度/mm	28.44 $\pm$ 1.20	28.61 $\pm$ 1.25	0.667	0.505

2.2 旋转稳定性及屈光结果

2.2.1 Toric IOL 旋转角度变化

匹配组患眼各时间点平均旋转角度相对稳定,均维持在较低水平;不匹配组患眼旋转角度则普遍更大。组间比较结果显示,不同时间点间差异均有统计学意义(均为 $P<0.05$)(表 2)。重复测量方差分析结果显示,匹配组和不匹配组患眼组内术后 5 个时间点间 Toric IOL 旋转角度相比差异均无统计学意义($F=1.346, 1.508, P=0.254, 0.204$),但 2 组患眼 Toric IOL 旋转角度整体比较差异有统计学意义($F=15.442, P<0.001$),提示囊袋直径与 CTR 尺寸相匹配时可获得更佳的 Toric IOL 旋转稳定性。

表 2 2 组患眼 Toric IOL 旋转角度随访结果

时间点	旋转角度/ $^{\circ}$		t	P
	匹配组	不匹配组		
术后 1 周	2.55 $\pm$ 1.40	3.12 $\pm$ 1.52	2.562	0.012
术后 1 个月	2.63 $\pm$ 1.35	3.38 $\pm$ 1.56	2.713	0.008
术后 3 个月	2.51 $\pm$ 1.25	3.35 $\pm$ 1.44	2.852	0.005
术后 6 个月	2.44 $\pm$ 1.24	3.48 $\pm$ 1.47	3.011	0.003
术后 12 个月	2.40 $\pm$ 1.15	3.58 $\pm$ 1.36	3.241	0.001

2.2.2 偏心距离和倾斜角度

匹配组患眼在各随访时间点均维持较小的偏心距离,术后 1 周为(0.15 $\pm$ 0.08) mm,术后 12 个月进一步改善至(0.11 $\pm$ 0.05) mm;不匹配组患眼的偏心距离相对较大且呈逐渐增大趋势,从术后 1 周的(0.22 $\pm$ 0.10) mm 增加至术后 12 个月的(0.27 $\pm$ 0.07) mm。组间和组内比较结果显示,术后不同时间

点间差异均有统计学意义(均为 $P<0.05$)(表 3)。

匹配组患眼的倾斜角度从术后 1 周的 2.10 $^{\circ}\pm$ 0.80 $^{\circ}$ 逐步改善至术后 12 个月的 1.70 $^{\circ}\pm$ 0.50 $^{\circ}$;不匹配组患眼则从术后 1 周的 3.20 $^{\circ}\pm$ 1.00 $^{\circ}$ 增加至术后 12 个月的 3.70 $^{\circ}\pm$ 0.70 $^{\circ}$ 。术后各时间点 2 组患眼间相比差异均有统计学意义(均为 $P<0.001$)。重复测量方差分析结果显示,匹配组患眼的 IOL 位置稳定性显著优于不匹配组($F=23.456, P<0.001$),提示囊袋-CTR 匹配度对维持 Toric IOL 的三维位置稳定性具有重要作用(表 4)。

表 3 2 组患眼 IOL 偏心距离随访结果

时间点	IOL 偏心距离/mm		t	P
	匹配组	不匹配组		
术后 1 周	0.15 $\pm$ 0.08	0.22 $\pm$ 0.10	3.521	<0.001
术后 1 个月	0.14 $\pm$ 0.07	0.24 $\pm$ 0.09	5.412	<0.001
术后 3 个月	0.13 $\pm$ 0.06	0.25 $\pm$ 0.08	6.832	<0.001
术后 6 个月	0.12 $\pm$ 0.06	0.26 $\pm$ 0.08	7.124	<0.001
术后 12 个月	0.11 $\pm$ 0.05	0.27 $\pm$ 0.07	8.341	<0.001

表 4 2 组患眼 IOL 倾斜角度随访结果

时间点	IOL 倾斜角度/ $^{\circ}$		t	P
	匹配组	不匹配组		
术后 1 周	2.10 $\pm$ 0.80	3.20 $\pm$ 1.00	5.827	<0.001
术后 1 个月	2.00 $\pm$ 0.70	3.40 $\pm$ 0.90	6.745	<0.001
术后 3 个月	1.90 $\pm$ 0.60	3.50 $\pm$ 0.80	7.832	<0.001
术后 6 个月	1.80 $\pm$ 0.60	3.60 $\pm$ 0.80	8.921	<0.001
术后 12 个月	1.70 $\pm$ 0.50	3.70 $\pm$ 0.70	9.485	<0.001

2.2.3 残余散光度与裸眼视力

2 组患眼在各随访时间点残余散光度均呈下降趋势,匹配组患眼下降幅度更为明显,至术后 12 个月时残余散光度降低至(0.53 $\pm$ 0.29) D,不匹配组同期则为(0.71 $\pm$ 0.34) D;不同时间点 2 组患眼间相比差异均有统计学意义(均为 $P<0.05$)。重复测量方差分析结果显示,匹配组与不匹配组患眼残余散光度之间的整体时间效应差异明显($F=12.648, P<0.001$),提示 CTR 尺寸匹配度在散光度控制方面具有一定影响(表 5)。

表 5 2 组患眼残余散光度随访结果

时间点	残余散光度/D		t	P
	匹配组	不匹配组		
术后 1 周	1.42 $\pm$ 0.45	1.88 $\pm$ 0.52	3.802	<0.001
术后 1 个月	0.88 $\pm$ 0.36	1.28 $\pm$ 0.42	4.645	<0.001
术后 3 个月	0.71 $\pm$ 0.34	1.02 $\pm$ 0.38	4.238	<0.001
术后 6 个月	0.58 $\pm$ 0.31	0.86 $\pm$ 0.37	3.663	<0.001
术后 12 个月	0.53 $\pm$ 0.29	0.71 $\pm$ 0.34	2.713	0.008

2 组患者的裸眼视力均在术后 1 周即获得一定程度提升,并在后续随访中持续改善。匹配组患眼裸眼视力提高速度稍快,术后 12 个月时优于不匹配组($P=0.007$)。重复测量方差分析结果显示,组内时间效应差异明显($F=18.052, P<0.001$),且组间差异明显($F=9.326, P=0.003$)(表 6)。

表 6 2 组患眼术后裸眼视力随访结果

时间点	术后裸眼视力 (logMAR)		<i>t</i>	<i>P</i>
	匹配组	不匹配组		
术后 1 周	0.20 ± 0.08	0.23 ± 0.09	2.103	0.038
术后 1 个月	0.16 ± 0.07	0.19 ± 0.08	2.215	0.029
术后 3 个月	0.14 ± 0.06	0.17 ± 0.07	2.279	0.025
术后 6 个月	0.13 ± 0.05	0.16 ± 0.06	2.437	0.017
术后 12 个月	0.12 ± 0.04	0.15 ± 0.05	2.743	0.007

2.3 次要观察指标

2.3.1 PCO 发生率

术后 6 个月时,匹配组与不匹配组患眼分别有 3 眼(6.00%)和 5 眼(10.00%)出现程度不一的 PCO (经 OCT 检查及裂隙灯评估确诊)。术后 12 个月的 PCO 发生率分别增加至 8.00% (4/50) 与 14.00% (7/50),2 组患者在术后 6 个月与 12 个月时的 PCO 发生率差异均无统计学意义($\chi^2 = 0.789, P = 0.374$; $\chi^2 = 1.212, P = 0.271$)。PCO 经 YAG 激光治疗后对患眼屈光度及视力无明显影响,亦未见严重并发症。

2.3.2 视觉质量主观评分

匹配组患者在术后各时间点的视觉质量主观评分均优于不匹配组,差异均有统计学意义(均为 $P < 0.05$) (表 7)。

表 7 2 组患者视觉质量主观评分随访结果

时间点	视觉质量主观评分/分		<i>t</i>	<i>P</i>
	匹配组	不匹配组		
术后 1 周	76.32 ± 6.14	73.10 ± 5.98	2.440	0.016
术后 1 个月	81.25 ± 5.92	78.42 ± 6.23	2.231	0.028
术后 3 个月	84.10 ± 5.85	80.26 ± 6.30	3.079	0.003
术后 6 个月	86.42 ± 5.74	82.34 ± 6.11	3.193	0.002
术后 12 个月	88.79 ± 5.36	85.01 ± 5.90	3.147	0.002

2.4 并发症与安全性

本研究共观察到 6 眼(6/100,6.00%) 在手术过程中出现一定程度的术中并发症。其中,晶状体乳化进程中发生后囊膜破裂 3 眼(不匹配组 2 眼),伴虹膜损伤 2 眼,发生晶状体皮质残留 1 眼。所有术中并发症均经及时处理,无进一步并发症或术后感染发生。随访期内,匹配组与不匹配组患者的术后并发症总发生率分别为 10.00% (5/50) 与 14.00% (7/50),组间差异无统计学意义($\chi^2 = 0.467, P = 0.494$),其中角膜水肿 3 眼(匹配组 1 眼,不匹配组 2 眼),色素沉着与炎症反应共 2 眼(均为不匹配组),以及囊袋部分收缩 1 眼(不匹配组)。

2.5 影响因素分析

为进一步探讨 Toric IOL 旋转稳定性及屈光矫正效果的潜在影响因素,在术后 12 个月分别将 Toric IOL 旋转角度及残余散光度作为因变量,纳入多个自变量分别进行单因素和多因素分析。自变量包括囊袋直径、CTR 尺寸、术前角膜散光度、眼轴长度、是否出现 PCO 以及患者年龄、性别。通过单因素相关或方差分析筛选出 $P < 0.10$ 的变量后,再将其纳入多

元回归模型,以排除潜在混杂效应并评估各自变量对 Toric IOL 术后旋转及散光控制的独立影响。

单因素回归分析显示,囊袋直径与 Toric IOL 旋转角度呈正相关($r = 0.42, P = 0.014$),CTR 尺寸与旋转角度亦呈正相关($r = 0.38, P = 0.022$);角膜散光度与残余散光度呈中度正相关($r = 0.48, P < 0.001$),且与 IOL 旋转角度相关($r = 0.30, P = 0.038$)。眼轴长度与 IOL 旋转角度相关性较弱($r = 0.21, P = 0.097$)。PCO 发生、年龄、性别与主要观察指标均无明显相关性(均为 $P > 0.05$)。

分别对 Toric IOL 旋转角度和残余散光度 2 个主要稳定性及屈光学指标,采用逐步多元线性回归法构建模型,纳入的自变量包括囊袋直径与 CTR 尺寸匹配度、术前角膜散光度、眼轴长度以及在单因素分析中 $P < 0.10$ 的其他候选变量。结果显示,囊袋直径-CTR 匹配度及术前角膜散光度是影响 Toric IOL 旋转角度($R^2 = 0.52$) 及术后残余散光度($R^2 = 0.46$) 的主要独立影响因素(均为 $P < 0.05$)。其中,匹配度不足的囊袋-CTR 组合与更大范围的 IOL 旋转和更高的术后散光度呈显著正相关($\beta = 0.35 \sim 0.42, P < 0.05$);角膜散光度是另一关键影响因素($\beta = 0.22 \sim 0.29, P < 0.05$)。其他变量在多元回归模型中均无统计学意义(均为 $P > 0.05$)。

3 讨论

囊袋直径与 CTR 尺寸之间的匹配度在高度近视患者中具有重要意义,已有文献强调囊袋解剖特征改变与 Toric IOL 植入后旋转风险之间存在潜在联系^[12-14]。本研究聚焦不同匹配度策略下 Toric IOL 的术后旋转幅度和屈光学指标,总体结果提示,若囊袋直径与 CTR 尺寸能维持相对均衡的支撑状态,Toric IOL 在术后多个随访时点的旋转幅度均明显减小,残余散光也随之降低。部分患者在囊袋与 CTR 失配时仍可获得一定程度的散光矫正和视力改善,却易出现更大范围的 IOL 轴位偏移或囊袋形态不稳定现象。高度近视状态下的囊膜与悬韧带往往薄弱而延展性增强,囊袋内部的应力分布极易受 CTR 形变与直径选择的影响,上述变化或能解释旋转稳定性与视觉质量之间的差异^[15-17]。研究中观察到的眼轴、角膜散光度、PCO 等因素对于 IOL 旋转与散光控制的作用亦与既往报道相一致,符合高度近视人群中多因素交互影响的特征^[18-20]。

CTR 在晶状体囊袋内发挥了相对环形的“张力梯度”作用,当其与囊袋径向近似匹配时,局部支撑力能够更趋于对称,有助于抑制囊袋纤维化、收缩等不规则因素^[21-23]。本研究结果同样显示,匹配组患者在视觉评分上保持更高满意度,与客观测量到的较低 IOL 旋转角度及较小残余散光相一致。既往有研究推测,传统手术设计中常根据经验来选择 CTR 尺寸,对于高度近视患者而言可能增大囊袋直径测

量误差和植入后失配的风险^[8,24]。通过基于前节 OCT 等技术对囊袋大小进行精细化评估,并针对不同直径或型号的 CTR 作个体化选择,可使种植后的囊袋结构维持在更稳定的生物力学状态,从而减轻 IOL 的轴向偏移。针对本研究发现的轻度 PCO 或角膜内皮变化,结合临床随访数据可见,多数病例在常规处理后并未造成显著长期屈光或旋转影响,与 CTR 支撑囊袋后减少炎症反应与不规则收缩的机制存在一定关联^[25-27]。

本研究系统性地评估了 CASIA2 测量指导下的囊袋-CTR 精准匹配对高度近视患者 Toric IOL 稳定性的影响,IOL 的偏心和倾斜测量结果进一步证实了囊袋匹配度的重要性。匹配组患眼的 IOL 偏心距离始终维持在较低水平,而不匹配组患眼偏心距离明显增大,这种差异可能与囊袋内应力分布不均导致的 IOL 位置偏移有关。倾斜角度的差异同样显著,提示 CTR 尺寸选择不当可能影响 IOL 在囊袋内的三维位置稳定性。

前瞻性队列设计的优势在于能够动态观察 CTR 植入后囊袋形态的变化过程,CASIA2 的高分辨率成像为术前囊袋测量提供了客观依据。然而,目前缺乏关于不同厂家 CTR 生物力学性能差异的深入研究,未来需要进一步探讨 CTR 材料特性对 IOL 长期稳定性的影响。此外,高度近视患者的眼轴长度分布、视网膜形态等因素可能对术后视觉质量产生影响,需要在更大样本量的多中心研究中进一步验证。

本研究仍存在局限,包括样本量有限且为单中心设置,尚无法全面覆盖不同严重程度的高度近视亚型和手术方式。随访时间为 12 个月,是否能够充分反映部分晚期囊袋纤维化及收缩尚待进一步观察。未来有必要开展多中心、大规模随机对照试验,以更广泛的人群样本来验证囊袋与 CTR 直径精准匹配度对 Toric IOL 术后旋转稳定性的长期效果。研究设计中未设置不使用 CTR 的对照组,无法完全排除 CTR 本身(而非匹配度)对旋转稳定性的影响,这可能对结果解释造成一定影响。高度近视患者的眼轴长度分布、视网膜形态等因素可能对术后视觉质量产生影响,需要在更大样本量的多中心研究中进一步验证。此外,联合更灵敏或定量的客观影像学指标(如更高级别的前节 OCT 三维重建)与视觉质量评价方法或可为临床决策提供更实际的参考。

4 结论

基于 CASIA2 测量指导的囊袋-CTR 精准匹配策略能够显著改善高度近视性白内障患者 Toric IOL 的旋转稳定性,减少残余散光,提高术后视觉质量。囊袋直径与 CTR 尺寸的匹配度是影响 Toric IOL 旋转稳定性的重要因素。本研究有助于完善术前规划,减小潜在误差,使高度近视合并角膜散光患者在 Toric IOL 植入后获得更持久的屈光改善和稳定视觉

体验。

参考文献

- [1] 李琳,孟紫薇,张利民,虹霏,朱丹. 散光矫正型人工晶状体植入术后轴向旋转的预测研究[J]. 眼科新进展,2023,43(7):536-541.
- [2] LI L, MENG Z W, ZHANG L M, HONG F, ZHU D. Predictors of axial rotation after astigmatism-correcting intraocular lens implantation[J]. *Rec Adv Ophthalmol*, 2023, 43(7):536-541.
- [3] ROCHA-DE-LOSSADA C, RODRÍGUEZ-VALLEJO M, RODRÍGUEZ-CALVO-DE-MORA M, RIBEIRO F J, FERNÁNDEZ J. Managing low corneal astigmatism in patients with presbyopia correcting intraocular lenses: a narrative review[J]. *BMC Ophthalmol*, 2023, 23(1):254.
- [4] UCAR F, OZCIMENT M. Can toric IOL rotation be minimized? Toric IOL-Capsular Tension Ring suturing technique and its clinical outcomes[J]. *Semin Ophthalmol*, 2022, 37(2):158-163.
- [5] LIN X, MA D, YANG J. Insights into the rotational stability of toric intraocular lens implantation: diagnostic approaches, influencing factors and intervention strategies[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2024, 11:1349496.
- [6] PATNAIK J L, KAHOK M Y, BERDAHL J P, HARDTEN D R, WAGNER B D, SEIBOLD L K, et al. Association between axial length and toric intraocular lens rotation according to an on-line toric back-calculator[J]. *Int J Ophthalmol*, 2022, 15(3):420-425.
- [7] DU Y, MENG J, HE W, QI J, LU Y, ZHU X. Complications of high myopia: an update from clinical manifestations to underlying mechanisms[J]. *Adv Ophthalmol Pract Res*, 2024, 4(3):156-163.
- [8] LIN X, MA D, YANG J. Exploring anterior capsular contraction syndrome in cataract surgery: insights into pathogenesis, clinical course, influencing factors, and intervention approaches[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2024, 11:1366576.
- [9] MAYER-XANTHAKI C F, HIRNSCHALL N, PREGARTNER G, GABRIEL M, FALB T, SOMMER M, et al. Capsular tension ring as protective measure against in-the-bag dislocations after cataract surgery[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2023, 49(2):154-158.
- [10] SCHARTMÜLLER D, RÖGGLA V, SCHWARZENBACHER L, MEYER E L, ABELA-FORMANEK C, LEYDOLT C, et al. Influence of a capsular tension ring on capsular bag behavior of a plate haptic intraocular lens: an intraindividual randomized trial[J]. *Ophthalmology*, 2024, 131(4):445-457.
- [11] ZHAO H Y, ZHANG J S, LI M, CHEN D J, WAN X H. Effect of capsular tension ring on the refractive outcomes of patients with extreme high axial myopia after phacoemulsification[J]. *Eur J Med Res*, 2024, 29(1):142.
- [12] CHO Y K, THOMSON A, AMBATI B K. Efficacy of haptic sutured in-the-bag intraocular lens for intraocular lens-capsule complex stability: a comparison of three insertion methods[J]. *Int J Ophthalmol*, 2022, 15(9):1468-1475.
- [13] LIN H, ZHANG J, JIN A, ZHANG Y, ZHANG Y, JIN L, et al. Capsular tension ring implantation for intraocular lens power calculation in highly myopic eyes: secondary analysis of a randomized clinical trial[J]. *JAMA Ophthalmol*, 2025, 143(5):373-381.
- [14] HE W, CHENG K, ZHAO L, LIU S, HUANG Z, ZHANG K, et al. Long-term outcomes of posterior capsular opacification in highly myopic eyes and its influencing factors[J]. *Ophthalmol Ther*, 2023, 12(4):1881-1891.
- [15] KOO E B. High myopia and capsular tension rings: to be or not to be? [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2025, 143(5):381-382.
- [16] LEWIS T L, LAU B, ALKHALFAN Y, TROWBRIDGE S, GORDON D, VERNON J, et al. Fourth-generation minimally invasive hallux valgus surgery with metaphyseal extra-articular transverse and akin osteotomy (META): 12 month clinical and radiologic results[J]. *Foot Ankle Int*, 2023, 44(3):178-191.
- [17] WEI R, LI M, ARUMA A, KNORZ M C, YANG D, YU Y, et al. Factors leading to realignment or exchange after implantable collamer lens implantation in 10 258 eyes[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2022, 48(10):1190-1196.

- [17] CHEN X Y, WANG Y C, ZHAO T Y, WANG Z Z, WANG W. Tilt and decentration with various intraocular lenses: a narrative review[J]. *World J Clin Cases*, 2022, 10 (12) : 3639-3646.
- [18] XIAO J, LIU M, HUANG Q, SUN Z, NING L, DUAN J, *et al*. Analysis and modeling of myopia-related factors based on questionnaire survey [J]. *Comput Biol Med*, 2022, 150: 106162.
- [19] LI T, YANG J, YAN J, YAO X, DU B, WU Q, *et al*. Interaction between parental myopia and children lifestyle on the incidence of myopia among children aged 6 – 18 years: a cross-sectional study in Tianjin, China [J]. *BMJ Open*, 2024, 14 (1) : e080929.
- [20] ZHANG R, DONG L, YANG Q, ZHOU W, WU H, LI Y, *et al*. Screening for novel risk factors related to high myopia using machine learning[J]. *BMC Ophthalmol*, 2022, 22 (1) : 405.
- [21] HU X, QI J, CHENG K, HE W, ZHANG K, ZHAO C, *et al*. Effectiveness of prophylactic capsular tension ring implantation during cataract surgery in highly myopic eyes [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2024, 50 (10) : 1030-1036.
- [22] CHEE S P, DICK H B, MASKET S, BELTZ J, VAJPAYEE R B, YEUE E, *et al*. Capsular phimosis with intraocular lens tilt and decentration [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2023, 49 (10) : 1073.
- [23] AMEKU K A, BERGGREN C C, PEDRIGI R M. Implantation of a capsular tension ring during cataract surgery attenuates predicted remodeling of the post-surgical lens capsule along the visual axis [J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2024, 11: 1300830.
- [24] CHANG P, HU Y, WU X, QIAN S, LI Y, WANG Y, *et al*. Influence of capsular tension rings on the IOL-capsule complex in patients with long axial length: a clinical observation based on SS-OCT [J]. *J Refract Surg*, 2024, 40 (9) : e654-e661.
- [25] FATHIMA A, MEENAKSHI R. Technique of using Cionni capsular tension ring in the management of ectopia lentis cases [J]. *Indian J Ophthalmol*, 2022, 70 (2) : 709-710.
- [26] GAO L, ZHOU Y, LI N, LIU X, CONG F. Lens epithelial mesenchymal transition and long-term chronic inflammation after cataract surgery [J]. *Ocul Immunol Inflamm*, 2023, 31 (8) : 1724-1726.
- [27] FUKUMOTO S, MINAMOTO T. Traction suture fixation technique using a capsular tension ring fragment for severe lens displacement during cataract surgery in dogs [J]. *Vet Ophthalmol*, 2025, 28 (2) : 197-206.

The impact of lens capsule diameter and capsular tension ring fit on the rotational stability of Toric IOLs in high myopia patients

XU Yanhui¹, MENG Keping¹, LIU Xiaojing², CHEN Yumeng², GUO Yuyu², LI Jiayu², CHEN Zhimin¹

1. Department of Cataract, Hebei Eye Hospital, Hebei Provincial Key Laboratory of Ophthalmology, Hebei Provincial Clinical Research Center for Eye Diseases, Xingtai 054000, Hebei Province, China

2. Department of Ophthalmology Teaching and Researching, Hebei Medical University, Shijiazhuang 050017, Hebei Province, China

[Abstract] Objective To evaluate the impact of lens capsule diameter and capsular tension ring (CTR) fit on the rotational stability and visual function of Toric intraocular lenses (IOLs) in patients with high myopia cataract after surgery, and to explore the main influencing factors. **Methods** A prospective study included 100 eyes of patients with high myopia (axial length ≥ 26 mm) who underwent phacoemulsification cataract extraction combined with Toric IOL implantation at the Cataract Department of Hebei Eye Hospital from September 2023 to March 2024. Based on the ratio of the capsule equivalent diameter measured by anterior segment OCT (CASIA2) to the standard diameter of CTR, the eyes were divided into the matched group (ratio of 0.8 – 1.2) and the unmatched group. Follow-up was conducted at 1 week, 1 month, 3 months, 6 months, and 12 months postoperatively to observe the rotation angle of Toric IOL, residual astigmatism, uncorrected visual acuity, and other indicators. Safety was assessed based on intraoperative and postoperative complications. Correlation analysis and multiple linear regression were used to explore the impact of capsule-CTR fit, corneal astigmatism, axial length, and other factors on Toric IOL rotation and postoperative refractive status. **Results** The mean IOL rotation angle at each postoperative time point in the matched group was significantly smaller than that in the unmatched group, with statistically significant differences between groups at different time points (all $P < 0.05$). The matched group showed better stability in IOL decentration distance and tilt angle. At 12 months postoperatively, the residual astigmatism in the matched group was (0.53 ± 0.29) D, which was better than that in the unmatched group (0.71 ± 0.34) D ($P = 0.08$). The matched group also had more significant improvement in uncorrected visual acuity and higher subjective visual quality scores. Multiple linear regression analysis showed that capsule-CTR fit and preoperative corneal astigmatism were the main independent factors affecting the rotation angle of Toric IOL ($R^2 = 0.52$) and residual astigmatism ($R^2 = 0.46$). **Conclusion** For patients with high myopia cataract, precise capsule-CTR matching based on CASIA2 measurement helps improve the rotational stability of Toric IOLs, reduce residual astigmatism, and enhance postoperative visual quality. Personalized CTR model selection is worth promoting and applying.

[Key words] high myopia; capsule-CTR fit; Toric intraocular lens; rotational stability