

非衍射型景深延长型 IOL 在高度近视并发白内障患者中的临床效果

贾艳红¹, 梁雪梅², 谭丽桃¹, 傅方², 庞远然¹, 朱康铭¹, 李莉¹

引用:贾艳红,梁雪梅,谭丽桃,等. 非衍射型景深延长型 IOL 在高度近视并发白内障患者中的临床效果. 国际眼科杂志, 2026, 26(4):700-705.

基金项目:湖南省自然科学基金项目(No.2023JJ70038)

作者单位:(530001)中国广西壮族自治区南宁市,南宁爱尔眼科医院¹白内障青光眼科;²眼底科

作者简介:贾艳红,毕业于郑州大学眼科学,硕士研究生,副主任医师,主任,研究方向:白内障、青光眼。

通讯作者:李莉,教授,主任医师,博士研究生导师,爱尔眼科医院集团广西省区总院长,研究方向:白内障、青光眼. lili@aierchian.com

收稿日期:2025-09-08 修回日期:2026-02-25

摘要

目的:评估非衍射型景深延长型人工晶状体(EDOF IOL)在高度近视并发白内障(HMC)患者中的术后临床效果。

方法:回顾性分析 2022 年 1 月至 2024 年 12 月于我院诊断为 HMC 的临床资料,将患者按植入 IOL 类型分为观察组(行 FLACS 联合非衍射型 EDOF IOL 植入)与对照组(行 FLACS 联合非球面单焦点 IOL 植入)。比较两组术后视力(LogMAR)、视觉质量、满意度。

结果:本研究最终纳入患者 33 例 47 眼,其中观察组 10 例 17 眼,对照组 23 例 30 眼。观察组年龄 59.0(52.8, 63.8)岁,男 8 例 13 眼,女 2 例 4 眼。对照组年龄 56.0(53.5, 60.0)岁,男 13 例 17 眼,女 10 例 13 眼。术后 3 mo,观察组与对照组最佳矫正远视力分别为 0.10(0.08, 0.12)和 0.20(0.10, 0.40)($P=0.586$)。但观察组最佳矫正中视力[0.10(0.10, 0.10) vs 0.50(0.40, 0.90), $P=0.032$]和最佳矫正近视力[0.20(0.18, 0.20) vs 0.60(0.45, 1.45), $P=0.044$]显著优于对照组。离焦曲线显示,观察组在-2.00~+1.00 D 范围内裸眼视力比较平缓,优于对照组。术后问卷调查表明,观察组脱镜率(76%)和总体满意度(88%)显著高于对照组(10%和 60%)。

结论:非衍射型 EDOF IOL 通过扩展焦深显著改善中近视力,减少眼镜依赖,同时维持远视力,为 HMC 患者提供了更优的术后视觉质量和生活满意度。

关键词:非衍射型景深延长型人工晶状体(IOL);高度近视;白内障;功能型 IOL;超声乳化白内障吸除术;满意度

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2026.4.25

Clinical effect of non-diffractive extended depth of focus IOL in patients with high myopia complicated with cataract

Jia Yanhong¹, Liang Xuemei², Tan Litao¹, Fu Fang², Pang Yuanran¹, Zhu Kangming¹, Li Li¹

Foundation item: Natural Science Foundation of Hunan Province (No.2023JJ70038)

¹Cataract and Glaucoma Department; ²Fundus Disease Department, Nanning Aier Eye Hospital, Nanning 530001, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

Correspondence to: Li Li. Cataract and Glaucoma Department, Nanning Aier Eye Hospital, Nanning 530001, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China. lili@aierchian.com

Received:2025-09-08 Accepted:2026-02-25

Abstract

• **AIM:** To evaluate the postoperative clinical efficacy of non-diffractive extended depth of focus intraocular lens (EDOF IOL) in patients with highly myopic cataract (HMC).

• **METHODS:** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of patients diagnosed with HMC at the hospital from January 2022 to December 2024. Patients were divided into an observation group [undergoing femtosecond laser-assisted cataract surgery (FLACS) combined with non-diffractive EDOF IOL implantation] and a control group (undergoing FLACS combined with aspheric monofocal IOL implantation) according to the type of implanted IOL. Postoperative visual acuity (LogMAR), visual quality, and patient satisfaction were compared between the two groups.

• **RESULTS:** A total of 33 patients (47 eyes) were finally included in this study, including 10 patients (17 eyes) in the observation group and 23 patients (30 eyes) in the control group. The observation group had a median age of 59.0(52.8, 63.8)y, with 8 males (13 eyes) and 2 females (4 eyes). The control group had a median age of 56.0(53.5, 60.0)y, with 13 males (17 eyes) and 10 females (13 eyes). At 3 mo postoperatively, the best-corrected distance visual acuity (BCDVA) was 0.10(0.08, 0.12) in the observation group and 0.20(0.10, 0.40) in the control group ($P=0.586$). However, the best-corrected intermediate visual acuity (BCIVA) [0.10(0.10, 0.10) vs 0.50(0.40, 0.90), $P=0.032$] and best-corrected near visual acuity (BCNVA) [0.20(0.18, 0.20) vs 0.60(0.45,

1.45), $P = 0.044$] in the observation group were significantly better than those in the control group. The defocus curve showed that the uncorrected visual acuity (UCVA) in the observation group was relatively stable within the range of -2.00 to $+1.00$ D, which was superior to that in the control group. Postoperative questionnaires showed that the spectacle independence rate (76%) and overall satisfaction (88%) in the observation group were significantly higher than those in the control group (10% and 60%, respectively).

• **CONCLUSION:** Non-diffractive EDOF IOL significantly improves intermediate and near visual acuity, reduces spectacle dependence, and maintains distance visual acuity by extending the depth of focus, providing better postoperative visual quality and life satisfaction for HMC patients.

• **KEYWORDS:** non-diffractive extended depth of focus intraocular lens (IOL); high myopia; cataract; functional IOL; phacoemulsification; satisfaction

Citation: Jia YH, Liang XM, Tan LT, et al. Clinical effect of non-diffractive extended depth of focus IOL in patients with high myopia complicated with cataract. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2026, 26(4):700-705.

0 引言

白内障是全球首位致盲性老年性眼病,手术治疗是目前公认的唯一有效方式。高度近视作为严重危害视功能的屈光不正性疾病,其全球患病率逐年上升,尤其在亚洲人群更为显著。病理性高度近视常伴随眼轴异常增长、脉络膜视网膜萎缩等改变,不仅导致视力损害,更显著增加并发性白内障、视网膜脱离及青光眼等风险^[1]。Shah等^[2]和 Haarman等^[3]研究表明高度近视并发白内障 (highly myopic cataract, HMC) 是此类患者视力下降的主要原因之一。随着眼科手术技术的不断进步,《中国成人白内障摘除手术指南(2023年)》和《我国飞秒激光辅助白内障摘除手术规范专家共识(2018年)》同时提到飞秒激光辅助白内障手术 (femtosecond laser-assisted cataract surgery, FLACS)^[4-5]的安全性、有效性及精准性的优势,与此同时,人工晶状体 (intraocular lens, IOL) 设计的革新,相对年轻患者生活及工作的需求^[6],显著改善了高度近视患者术后的视觉质量。然而,此类患者常合并进行性眼底病变及悬韧带松弛等解剖异常,限制了多焦点人工晶状体 (multifocal intraocular lens, MIOL) 的应用^[7-8]。国内外研究指出,MIOL 植入可能导致对比敏感度下降、眩光、光晕等并发症,尤其不适用于存在视网膜病变的超高度近视患者^[9]。近年来,非衍射型景深延长型人工晶状体 (extended depth of focus intraocular lens, EDOF IOL) 因其连续视程特性,在改善中近视力、减少光干扰方面展现出优势。Acrysof IQ Vivity IOL 作为非衍射型 EDOF IOL,通过渐变焦设计扩展焦深,可满足患者日常中近距离用眼需求。基于此,本研究采用 FLACS 联合 Acrysof IQ Vivity IOL,旨在评估其对 HMC 患者术后视力重建、视觉质量及满意度的影响,以期眼底条件相对良好的 HMC 患者提供更好治疗策略。

1 对象和方法

1.1 对象 回顾性病例对照研究,纳入2022年1月至2024年12月于我院诊断为 HMC 的患者。样本量计算基于文献^[10],采用双侧 $\alpha = 0.05$, $\beta = 0.2$ (检验效能 80%),容许误差 0.3,标准差 0.35,需要样本量 $n = 21.4$ 眼,观察组和对照组样本量比值 1:1,观察组 21 眼,对照组 21 眼。本研究共纳入 41 例 57 眼 HMC 患者,按植入 IOL 类型分为观察组 (16 例 23 眼,行 FLACS 联合非衍射型 EDOF IOL 植入) 与对照组 (25 例 34 眼,行 FLACS 联合非球面单焦点 IOL 植入)。纳入标准:(1)眼轴长度 (axial length, AL) ≥ 26 mm,近视等效球镜度 ≥ 6.00 D;(2)晶状体混浊符合《中国成人白内障摘除手术指南(2023年)》^[4];(3)同一术者完成手术;(4)所有纳入标准的患者均采用飞秒激光手术方式;(5)术前 OCT 检查无近视相关的病理性改变,如黄斑前膜、黄斑裂孔、脉络膜新生血管等。排除标准:(1)角膜病变、青光眼、视网膜色素变性或视神经疾病;(2)术中后囊膜破裂、术后眼内炎或视网膜脱离等并发症;(3)术前散光 ≥ 0.75 D;(4)合并黄斑变性、视网膜脱离等影响视力的眼底疾病;(5)无法完成 3 mo 随访;(6)术中发现悬韧带离断和或术中需要植入囊袋张力环。本研究取得医学伦理委员会审查批准,所有参与者均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 术前准备 术前 3 d 予 0.5% 左氧氟沙星滴眼液、0.1% 双氯芬酸钠滴眼液点眼,每日 4 次;术前 1 h 复方托吡卡胺滴眼液充分散瞳。

1.2.2 手术步骤 飞秒激光操作:采用 LenSx 飞秒激光系统完成连续环形撕囊 (直径 5.2-5.5 mm,能量 5-6 μ J) 及晶状体预劈核 (能量 10 μ J),透明角膜主切口 (160°) 及侧切口 (40°)。超声乳化:前房内注入透明质酸钠维持前房及保护周围组织,水分离后使用 Centurion 超声乳化系统乳化晶状体核,注吸残留皮质。IOL 植入:观察组植入 Acrysof IQ Vivity EDOF IOL,预留度数: $26 \text{ mm} \leq \text{AL} < 28 \text{ mm}$ 约预留 -0.30 -- -0.50 D, $28 \text{ mm} \leq \text{AL} < 30 \text{ mm}$ 约预留 -0.50 -- -0.80 D, $\text{AL} \geq 30 \text{ mm}$ 约预留 -0.80 -- -1.00 D。对照组植入 MCX11ASP 单焦点 IOL,预留度数: $26 \text{ mm} \leq \text{AL} < 28 \text{ mm}$ 约预留 -0.75 -- -1.50 D, $28 \text{ mm} \leq \text{AL} < 30 \text{ mm}$ 约预留 -1.50 -- -2.25 D, $\text{AL} \geq 30 \text{ mm}$ 约预留 -2.25 -- -3.0 D。HMC 患者存在远视力不佳、近视力基本正常的临床特征。为保留患者术后近视力功能,单焦点 IOL 植入需预留较高近视度数;而 Vivity IOL 依托光的“拉伸-移位”核心机制实现焦深扩展,其屈光度预留仅需考量术后远视漂移量及微单视设计所需度数。上述 IOL 度数预留方案的制定,均基于术前问卷调查结果,且已充分告知患者相关事宜并获得知情同意。切口处理:水密切口,术毕结膜囊涂氧氟沙星眼膏。采用 Barrett Universal II 公式结合 IOL Master 700 进行生物测量,针对 $\text{AL} \geq 28 \text{ mm}$ 的高度近视患者优化公式常数,以提升术后屈光预测的精准性。

1.2.3 术后处理与随访 术后用药:左氧氟沙星滴眼液,双氯芬酸钠滴眼液,妥布霉素地塞米松滴眼液 (术后 1 wk 停药);对于术后合并干眼者加用玻璃酸钠滴眼液。随访计划:术后 1 d, 1 wk, 1, 3 mo 复查裸眼视力、最佳矫正视力、眼压及眼底情况,记录并发症。采用 9 条目短版 (Catquest-9SF),采用其中主要的日常活动指标来评估术后视觉。

统计学分析:采用 R4.3.0 统计分析软件,其中偏态分布的计量资料采用 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验;计数资料以 $n(\%)$ 表示,组间比较采用 χ^2 检验和 Fisher 精确检验,以 $P < 0.05$ 认为差异具有统计学意义。为控制混杂偏倚,采用倾向评分匹配(propensity score matching, PSM)法均衡两组患者的基线协变量。采用 1:2 最近邻匹配法(卡钳值设定为 0.2)进行匹配。匹配后,通过计算标准化均差(standardized mean difference, SMD)评估协变量的平衡性,以 $SMD < 0.1$ 认为组间均衡性良好。

2 结果

2.1 基线资料比较 两组患者性别、年龄、眼内压、眼别及累积超声能量等基线资料比较,差异无统计学意义(均 $P > 0.05$),但基线视力及 AL 差异有统计学意义(均 $P < 0.01$)。经倾向性评分校正后,共 33 例 47 眼纳入分析(因 HMC 患者常合并大散光、视网膜变性、悬韧带松弛等并发症,部分入选病例匹配变量发现术中有不满足入组的条件,最终

调整为观察组 10 例 17 眼,匹配对照组 23 例 30 眼)。匹配后,各变量的 SMD 较匹配前均有不同程度降低,表明 PSM 有效减小了组间混杂偏倚。其中,年龄($SMD = -0.076$)、性别($SMD = 0.024$)和累积超声能量($SMD = -0.099$)达到良好平衡($SMD < 0.1$);眼轴长度($SMD = 0.102$)、手术时间($SMD = 0.112$)和眼内压($SMD = 0.109$)的 SMD 略高于 0.1,但在可接受范围内($SMD < 0.2$);而晶状体混浊类型($SMD = 0.120$)、眼别($SMD = 0.144$)和基线视力($SMD = 0.134$)的 SMD 相对较大(表 1),提示这些变量在匹配后尚未完全平衡,后续分析将对此进行进一步调整或在讨论中说明这一局限性。

2.2 术后视力比较 术后 3 mo,观察组与对照组最佳矫正远视力比较,差异无统计学意义($P = 0.586$);观察组最佳矫正中、近视力显著优于对照组(均 $P < 0.05$),见表 2。离焦曲线显示,观察组在 -2.00 ~ $+1.00$ D 范围内视力比较平缓,优于对照组,对照组仅在 0.00 D 处达最佳视力(0.67),离焦 $\geq +0.50$ D 及 ≤ -0.50 D 时视力显著下降(图 1)。

表 1 两组原始资料基线特征及 PSM 后特征差异性分析

参数	PSM 前					
	总体(41 例 57 眼)	观察组(16 例 23 眼)	对照组(25 例 34 眼)	Z/χ^2 /Fisher	P	SMD
年龄 [$M(Q_1, Q_3)$, 岁]	55.0(49.0, 65.0)	50.0(47.0, 61.0)	58.5(51.3, 65.8)	-1.791	0.073	0.436
眼内压 [$M(Q_1, Q_3)$, mmHg]	14.0(13.0, 16.0)	14.0(11.0, 16.0)	14.0(13.0, 16.0)	-0.764	0.445	0.404
基线视力 [$M(Q_1, Q_3)$, LogMAR]	0.7(0.4, 1.3)	0.5(0.3, 1.1)	1.3(0.7, 1.5)	-2.673	0.008	0.679
AL [$M(Q_1, Q_3)$, mm]	29.2(27.3, 31.1)	27.1(26.6, 29.0)	30.5(29.2, 32.2)	-4.994	<0.001	1.618
手术时间 [$M(Q_1, Q_3)$, min]	20.0(18.0, 24.0)	22.0(17.5, 24.0)	20.0(18.3, 25.3)	-0.326	0.744	-0.124
累积超声能量 [$M(Q_1, Q_3)$, %]	4.4(2.2, 8.4)	3.2(1.8, 5.5)	4.9(3.1, 9.4)	-1.762	0.078	0.440
性别(例, %)				0.002	0.962	
男	26(63)	12(75)	14(56)			0.013
女	15(37)	4(25)	11(44)			-0.013
眼别(眼, %)				1.290	0.256	
右眼	25(44)	8(35)	17(50)			0.304
左眼	32(56)	15(65)	17(50)			-0.304
晶状体混浊类型(眼, %)					1.000	
皮质为主型	4(7)	2(9)	2(6)			-0.204
核型	53(93)	21(91)	32(94)			0.204
参数	PSM 后					
	总数(33 例 47 眼)	观察组(10 例 17 眼)	对照组(23 例 30 眼)	Z/χ^2 /Fisher	P	SMD
年龄 [$M(Q_1, Q_3)$, 岁]	56.0(53.0, 63.5)	59.0(52.8, 63.8)	56.0(53.5, 60.0)	0.000	1.000	-0.076
眼内压 [$M(Q_1, Q_3)$, mmHg]	14.0(10.0, 17.0)	12.5(9.9, 15.3)	15.0(12.0, 17.0)	-0.357	0.721	0.109
基线视力 [$M(Q_1, Q_3)$, LogMAR]	0.5(0.4, 1.5)	0.4(0.3, 0.8)	1.30(0.9, 1.7)	-0.842	0.400	0.134
AL [$M(Q_1, Q_3)$, mm]	29.2(28.3, 31.2)	29.1(28.7, 29.6)	31.5(29.3, 31.5)	-0.484	0.629	0.102
手术时间 [$M(Q_1, Q_3)$, min]	24.0(18.5, 26.0)	23.5(20.8, 24.3)	27.0(20.5, 27.5)	-0.714	0.476	0.112
累积超声能量 [$M(Q_1, Q_3)$, %]	5.5(3.0, 11.3)	5.0(3.7, 9.9)	9.4(5.5, 11.3)	0.000	1.000	-0.099
性别(例, %)					>0.05	
男	21(64)	8(80)	13(57)			-0.024
女	12(36)	2(20)	10(43)			0.024
眼别(眼, %)				0.642	0.423	
右眼	23(49)	7(41)	16(53)			0.144
左眼	24(51)	10(59)	14(47)			-0.144
晶状体混浊类型(眼, %)					>0.05	
皮质为主型	4(9)	2(12)	2(7)			-0.120
核型	43(91)	15(88)	28(93)			0.120

注:观察组行 FLACS 联合非衍射型 EDof IOL 植入;对照组行 FLACS 联合非球面单焦点 IOL 植入。

表2 观察组与对照组术后3 mo 视力比较

[$M(Q_1, Q_3), \text{LogMAR}$]

组别	眼数	最佳矫正近视力	最佳矫正远视力	最佳矫正中视力
总体	47	0.20(0.20,1.45)	0.10(0.05,0.20)	0.10(0.10,0.40)
观察组	17	0.20(0.18,0.20)	0.10(0.08,0.12)	0.10(0.10,0.10)
对照组	30	0.60(0.45,1.45)	0.20(0.10,0.40)	0.50(0.40,0.90)
Z		-2.02	-0.55	-2.15
P		0.044	0.586	0.032

注:观察组行 FLACS 联合非衍射型 EDOF IOL 植入;对照组行 FLACS 联合非球面单焦点 IOL 植入。

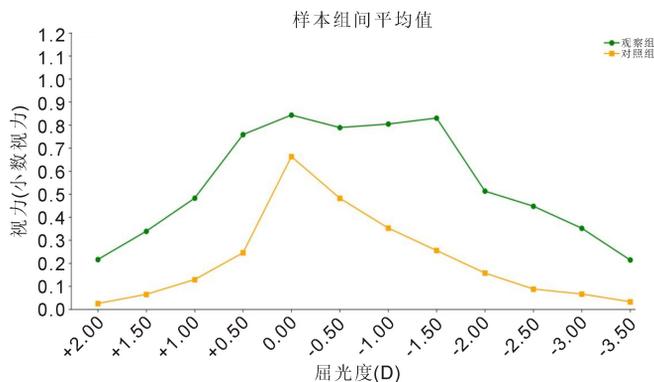


图1 观察组与对照组术后离焦曲线对比图。

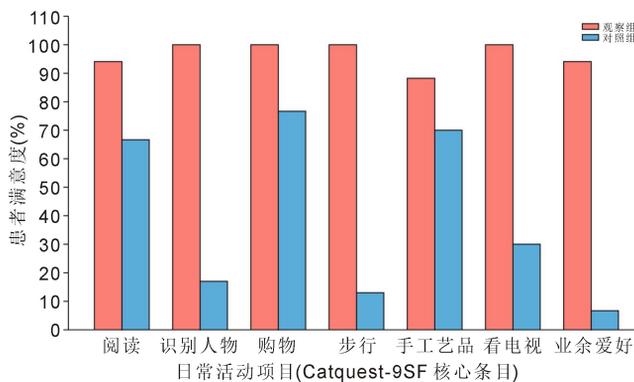


图2 观察组与对照组术后满意度调查结果。

2.3 术后视觉质量及满意度 视觉干扰:观察组 94% (16/17)患者无眩光、光晕等视觉干扰症状,对照组为 97% (29/30),组间差异无统计学意义 ($P>0.05$)。脱镜率:观察组远中视力脱镜率达 76% (13/17),显著高于对照组 10% (3/30) ($\chi^2 = 30.12, P<0.001$)。满意度:采用 Catquest-9SF 量表^[11]评估,观察组总体满意度为 88% (15/17),显著高于对照组 60% (18/30) ($\chi^2 = 8.45, P = 0.004$)。

患者满意度调查问卷显示,对于中、近距离的日常生活比如阅读(33 cm)、购物时识别标签(40 cm)及做一些手工艺品(50 cm)来说,观察组(常规预留)明显可以不用借助老花眼镜,然而对照组部分患者(预留 ≤ -2.00 D)看近时明显可以脱镜,两组的满意度几乎一致。但是在视远距离的日常生活中比如看电视、散步等,这两组患者满意度仍有差异性,观察组可以明显脱镜,对照组仍需要借助低度数眼镜(图2)。

总体对于观察组在预留较低度数情况下的远中近视力比较好,术后可以脱镜,然而对于对照组视远仍需要借助低度数眼镜,但这两组患者整体对比发现观察组的术后满意都更高。HMC 患者的核心临床特征为远视力不佳。临床实践表明,多数采用近视预留方案的患者,术后远视力可达到 0.5 水平,该部分患者对术后视力改善效果普遍持满意态度;Vivity IOL 则依托光的“拉伸-移位”核心机制实现焦深扩展,能够有效优化患者远、中、近全程视觉质量,其术后远视力可进一步提升至 0.8 及以上。相较于单焦点 IOL 植入患者,Vivity IOL 植入患者的术后视力表现更优,整体满意度显著更高。

3 讨论

随着屈光性白内障手术的普及及患者对术后视觉质量要求的提高,HMC 的治疗策略逐渐从单纯复明转向功能重建。研究发现中国 HMC 患者平均年龄(59.5 ± 12.6 岁)低于非高度近视组(68.9 ± 11.0 岁),此特征对年轻 HMC 患者选择功能型 IOL 时需要慎重抉择^[6]。本研究采

用 FLACS 联合非衍射型 EDOF IOL 治疗 HMC,探索其在 HMC 患者中的临床价值。结果显示观察组术后中视力、近视力及脱镜率(76% vs 10%)显著优于对照组(均 $P<0.05$),且离焦曲线显示观察组在 -2.00 ~ $+1.00$ D 范围内视力(>0.5)稳定。本研究核心发现:(1)远视力等效:观察组最佳矫正远视力与对照组无显著差异($P=0.586$),证实 EDOF IOL 在保证远视力上与单焦点 IOL 相当,满足患者远距离视物需求;(2)中近视力优势显著:观察组最佳矫正中、近视力显著优于对照组($P=0.032, 0.044$),且离焦曲线在 -2.00 ~ $+1.00$ D 范围内视力稳定,覆盖日常中近距离用眼范围,适配阅读、电脑操作等场景;(3)脱镜率与满意度方面,观察组 76%的脱镜率和 88%的满意度远超对照组,验证了 EDOF IOL 对生活质量的提升作用。

FLACS 凭借精准连续环形撕囊及预劈核技术能缩短有效超声乳化时间、降低累积超乳能量^[12],降低对角膜内皮微结构的损伤^[13],在 HMC 治疗中更安全有效,能减少角膜水肿、促进黄斑和脉络膜厚度恢复,提升手术安全性与精准性^[14-15],传统超声乳化手术中前房浪涌及悬韧带牵拉是导致后囊膜破裂的主要风险因素,发生率可达 1.98%~6.37%^[16],在本研究中,FLACS 未发生后囊膜破裂病例,与 Zhao 等^[15]及 Lee 等^[17]报道的 FLACS 可降低高度近视术中并发症的结论一致。而且飞秒激光撕囊的居中性显著优于手工撕囊^[18],可以为 EDOF IOL 的光学中心定位奠定基础;飞秒激光原位撕囊和劈核的技术,尤其适用于悬韧带松弛的 HMC 患者和伴有晶状体脱位的白内障患者,可以使这些患者 IOL 植入囊袋的比率达 90%^[19]。此外,Liang 等^[20]通过光学相干断层扫描(OCT)证实,FLACS 对 HMC 患者黄斑区血流及脉络膜厚度影响较小($P=0.032$),提示其对高度近视眼微循环的保护作用,推测与 FLACS 减少术中眼内压波动及机械损伤有关。总之,FLACS 为 HMC 患者带来更优的手术效果及更小的损伤^[15,17],但是,也有 HMC 患者行 FLACS 后发生视网膜脱离(RRD)的报道,因此 HMC 患

者术后远期复查至关重要^[21]。

Acrysof IQ Vivity IOL 作为新型非衍射 EDOF IOL, 通过 X-WAVE™ 技术实现光能高效利用。其非衍射型波前重塑技术(X-WAVE™ Technology), 核心机制是通过光的“拉伸-移位”实现焦深扩展, 具体包含三大关键设计要素:(1) 双曲面过渡光学结构: 在晶状体中心直径 2.2 mm 的光学功能区内, 集成两个光滑的表面过渡元素: 1) 高度约 1 μm 的微凸平台结构, 通过渐进式光学曲面实现入射光波前的纵向拉伸, 形成的中间段焦平面精准覆盖 40–80 cm 常用中距范围(如电脑操作、仪表盘阅读); 2) 跨波前的微曲率变化设计, 引导光线能量横向移位, 它补充了 16–30 cm 近距成像的光能量需求, 满足阅读菜单、使用手机等日常近距需求, 二者协同作用使光能量在视网膜前方形成连续分布的焦平面, 而非单一焦点, 从而建立从远距到近距的连续焦距范围, 提升视觉功能。(2) 非衍射分光的光学优势, 区别于衍射型 EDOF IOL 依赖光栅结构分割光能量的设计, X-WAVE™ 技术在不破坏光的完整性前提下实现焦深扩展, 从物理层面规避了衍射导致的光干扰问题。这一特性使其保持与单焦点 IOL 相当的光学纯度, 为低视觉干扰奠定基础。(3) 疏水性丙烯酸酯材质支撑, 采用 AcrySof IQ 系列经典的疏水性丙烯酸苯乙酯材质, 具有良好的生物相容性与囊膜黏附性, 可减少术后后发性白内障发生率, 同时为光学结构提供稳定的物理支撑, 保障波前重塑效果的长期一致性。相关研究发现 ZXR00 微型单眼植入术更适合中高视力需求患者, 而 ZXR00 与 ZMB00 镜片的混合植入术则更适用于高近视力需求患者^[22]。

一致性: 本研究中观察组术后离焦曲线提示在 -1.50–+0.00 D 范围内视力稳定于 0.8, 覆盖日常中距离(如电脑操作、驾驶仪表盘)需求, 与 Bhasin 等^[23]报道的 74.6% 患者对中视力满意度的结果高度一致。相较于传统衍射型 MIOL, 非衍射型 EDOF IOL 在 HMC 患者展现出独特优势: 光干扰控制, 衍射型 MIOL 因光栅分光效应导致眩光等光干扰现象^[24–26], 而本研究中观察组仅个别患者诉轻微眩光, 无典型“双峰现象”, 与 Wang 等^[27]关于 EDOF IOL 在长眼轴眼中光干扰较少的结论一致。差异性: 脱镜率提升: 76% 患者实现远中视力脱镜, 显著高于单焦点 IOL 组(10%), 原因包括: 严格排除散光患者减少视力干扰; 按 AL 个性化预留度数提升屈光精准性; FLACS 精准撕囊为 IOL 定位提供保障。与衍射型 MIOL 相比, 本研究 EDOF IOL 因非衍射设计, 规避了眩光等光干扰, 更适配 HMC 患者眼底特点。安全性: 严格的术前评估及术中技术优化, 术后 3 mo 未发生 IOL 偏位、后发性白内障等并发症, 并发症发生率低于文献报道的 7.7%^[28]。屈光预测精准性: 与传统的公式对比, 采用新的 IOL 计算公式 Barrett Universal II 结合 IOL Master 700 测量, 在 AL ≥ 28 mm 数据中, 术后屈光绝对误差最低^[29]。创新点: (1) 聚焦 HMC 特殊人群, 规避 MIOL 在合并眼底病变、悬韧带松弛患者中的应用局限; (2) 按 AL 分段制定预留度数策略, 兼顾远视力稳定性与中近视力需求; (3) 结合 FLACS 与 EDOF IOL 技术优势, 实现手术安全性与视觉质量双重优化。

尽管本研究取得积极成果, 仍需关注以下局限性: (1) 样本量与分组少: HMC 患者合并眼底病变比例高, 符合本研究严格纳入/排除标准的病例数有限; 后续研究将开展多中心合作, 扩大样本量并纳入更多临床中心的病

例, 而且以后需要按 AL 分层, 以提升结论的外推性, 且 Lee 等^[30]指出 AL 越长, HMC 患者术后屈光预测误差越大、残留近视风险越高。(2) 随访时间较短: 因高度近视白内障患者囊袋相对较大, 术后 IOL 更容易发生倾斜及囊袋收缩等并发症, 张力环的使用可以降低这类风险^[31], 本研究未将张力环植入作为分层因素纳入分析, 其对 IOL 长期稳定性的影响仍需进一步验证。而且随访仅 3 mo, 缺乏远期 IOL 稳定性、视网膜脱离风险等数据。(3) 客观评估缺失: 因研究初期设备条件限制, 未纳入波前像差、调制传递函数(MTF)、暗光对比敏感度等客观视觉质量指标; 后续研究将完善客观检测项目, 结合主观满意度与客观指标, 全面评估 EDOF IOL 的光学性能优势。(4) 本研究为单中心回顾性研究, 手术均由同一位术者完成, 虽保证操作一致性, 但结果外推性可能受限于术者的临床经验。(5) 因为 HMC 患者合并角膜散光比率高, 患者术后视觉质量及满意度也与之相关^[32], 本研究排除了角膜散光 ≥ 0.75 D 的患者, 结论更适用于角膜散光 < 0.75 D 的人群; 对于合并轻度散光的患者, EDOF IOL 联合散光矫正的疗效需进一步研究验证。(6) 本研究以“眼”为统计单位, 而脱镜率属于人水平指标, 未处理双眼数据的相关性, 存在一定局限性; 后续研究需以“患者”为单位, 采用混合效应模型分析双眼数据, 提升统计方法的严谨性。未来还可结合人工智能辅助决策: 开发基于深度学习的 IOL 计算公式, 整合 AL、角膜曲率(角膜散光^[32])及黄斑功能等参数, 提升超高度近视(AL ≥ 28 mm)患者的屈光预测精度。

总之, FLACS 联合非衍射型 EDOF IOL 为 HMC 患者提供了安全有效的治疗新策略, 其通过精准手术技术与创新光学设计的协同作用, 在全程视力重建、脱镜率提升及视觉质量优化方面展现出显著优势。HMC 患者多为相对年轻人群, 脱镜需求高。EDOF IOL 在维持远视力的同时, 显著改善中近视力, 减少眼镜依赖, 且视觉干扰少、安全性高, 为眼底条件相对良好的 HMC 患者提供了优于单焦点 IOL 和传统 MIOL 的新选择, 推动屈光性白内障手术在复杂病例中的应用。未来需通过技术创新与循证医学研究进一步完善个体化治疗方案, 推动屈光性白内障手术在复杂眼病中的深化应用。

利益冲突声明: 本文不存在利益冲突。

作者贡献声明: 贾艳红论文选题, 研究设计及论文初稿撰写; 梁雪梅、谭丽桃文献检索, 数据分析, 统计分析及数据的审核; 傅方论文英文摘要修改; 庞远然、朱康铭收集整理数据; 李莉选题指导, 论文修改及审阅。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

- [1] Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*, 2016, 123(5): 1036–1042.
- [2] Shah R, Vlasak N, Evans BJW. High myopia: Reviews of myopia control strategies and myopia complications. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2024, 44(6): 1248–1260.
- [3] Haarman AEG, Enthoven CA, Tideman JW, et al. The complications of myopia: a review and meta-analysis. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020, 61(4): 49.
- [4] 中华医学会眼科学分会白内障及屈光手术学组. 中国成人白内障摘除手术指南(2023年). *中华眼科杂志*, 2023, 59(12): 977–987.
- [5] 中华医学会眼科学分会白内障及人工晶状体学组. 我国飞秒激

光辅助白内障摘除手术规范专家共识(2018年). 中华眼科杂志, 2018,54(05):328-333.

[6] Tan YH, Shao Y, Liu LP, et al. A 10-year retrospective study on the prevalence and biometric characteristics of high myopia in Chinese cataract surgery candidates. *Sci Rep*, 2025,15:22698.

[7] 中华医学会眼科学分会白内障及人工晶状体学组. 中国多焦点人工晶状体临床应用专家共识(2019年). 中华眼科杂志, 2019, 55(7):491-494.

[8] Wang W, Yan W, Fotis K, et al. Cataract surgical rate and socioeconomics: a global study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016, 57(14):5872-5881.

[9] 李朝辉, 张弛, 叶子. 高度近视眼合并白内障患者植入多焦点人工晶状体切勿操之过急. 中华眼科杂志, 2021,57(1):28-33.

[10] Ranganathan P, Deo V, Pramesh CS. Sample size calculation in clinical research. *Perspect Clin Res*, 2024,15(3):155-159.

[11] Visser MS, Dieleman M, Klijn S, et al. Validation, test - retest reliability and norm scores for the Dutch Catquest - 9SF. *Acta Ophthalmol*, 2017,95(3):312-319.

[12] Conrad-Hengerer I, Hengerer FH, Schultz T, et al. Effect of femtosecond laser fragmentation on effective phacoemulsification time in cataract surgery. *J Refract Surg*, 2012,28(12):879-884.

[13] Conrad-Hengerer I, Al Juburi M, Schultz T, et al. Corneal endothelial cell loss and corneal thickness in conventional compared with femtosecond laser - assisted cataract surgery: Three-month follow-up. *J Cataract Refract Surg*, 2013,39(9):1307-1313.

[14] Chen XY, Chen KL, He JL, et al. Comparing the curative effects between femtosecond laser - assisted cataract surgery and conventional phacoemulsification surgery: a meta - analysis. *PLoS One*, 2016, 11(3):e0152088.

[15] Zhao LJ, Tan MJ, Zhang JF, et al. Comparative study of FLACS vs conventional phacoemulsification for cataract patients with high myopia. *J Cataract Refract Surg*, 2024,50(6):624-630.

[16] Yao YQ, Lu Q, Wei L, et al. Efficacy and complications of cataract surgery in high myopia. *J Cataract Refract Surg*, 2021,47(11):1473-1480.

[17] Lee CY, Yang SF, Chen HC, et al. Postoperative decline in antioxidant concentrations in aqueous humor: comparison between femtosecond laser - assisted cataract surgery and conventional cataract surgery. *In Vivo*, 2025,39(5):2728-2738.

[18] Toto L, Mastropasqua R, Mattei PA, et al. Postoperative IOL axial movements and refractive changes after femtosecond laser - assisted cataract surgery versus conventional phacoemulsification. *J Refract Surg*, 2015,31(8):524-530.

[19] Chee SP, Wong MHY, Jap A. Management of severely subluxated

cataracts using femtosecond laser - assisted cataract surgery. *Am J Ophthalmol*, 2017,173:7-15.

[20] Liang XM, Luo SN, Deng KY, et al. Comparison of macular changes and visual outcomes between femtosecondlaser-assisted cataract surgery and conventional phacoemulsification surgery for high myopic cataract patients. *BMC Ophthalmol*, 2024,24(1):212.

[21] Boral SK, Agarwal D, Mohanta A. Rhegmatogenous retinal detachment following femtosecond laser-assisted cataract surgery. *Oman J Ophthalmol*, 2022,15(2):215-217.

[22] 李彤, 李卓亚, 郭榕, 等. 双眼微单视焦深延长型人工晶状体与混合搭配双焦点人工晶状体植入疗效对比. 国际眼科杂志, 2025, 25(3):337-343.

[23] Bhasin P, Sarkar D, Bhasin P, et al. Visual performance and patient satisfaction with AcrySof® IQ Vivivity® IOL: Experience from a tertiary care center in central India. *Indian J Ophthalmol*, 2024,72(4):554-557.

[24] Society CC. Chinese expert consensus on classification of intraocular lenses (2021). *Zhonghua Yan Ke Za Zhi*, 2021,57(7):495-501.

[25] Negishi K, Hayashi K, Kamiya K, et al. Nationwide prospective cohort study on cataract surgery with multifocal intraocular lens implantation in Japan. *Am J Ophthalmol*, 2019,208:133-144.

[26] 中华医学会眼科学分会白内障及人工晶状体学组. 中国人工晶状体分类专家共识(2021年). 中华眼科杂志, 2021, 57(7):495-501.

[27] Wang XH, Liu SN, Chen YQ, et al. Extended depth of focus IOL in eyes with different axial myopia and targeted refraction. *BMC Ophthalmol*, 2024,24(1):183.

[28] Chang JSM, Chan VKC, Ng JCM, et al. Visual performance after bilateral implantation of a four - haptic diffractive toric multifocal intraocular lens in high myopes. *J Ophthalmol*, 2016,2016:5320105.

[29] Tan Q, Lin D, Wang L, et al. Comparison of IOL power calculation formulas for a trifocal IOL in eyes with high myopia. *J Refract Surg*, 2021,37(8):538-544.

[30] Lee CY, Chen HC, Lian IB, et al. The preoperative factors for the undercorrection of myopia in an extend depth-of-focus intraocular lens: a case-control study. *Diagnostics*, 2024,14(14):1499.

[31] Lin HW, Tan XH, Zhang JQ, et al. Impact of capsular tension ring implantation in cataract patients with high myopia. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi*, 2022,58(11):979-983.

[32] Tan YH, Liu LP, Li JB, et al. Evaluation of preoperative corneal astigmatism using swept - source optical biometry in Chinese cataract surgery candidates with high myopia: a prospective, comparative observational study. *Ann Transl Med*, 2021,9(8):618.