

# 景深延长型人工晶状体对散光包容性的研究进展

马晓婷<sup>1,2</sup>, 赵智华<sup>1</sup>, 李科军<sup>1</sup>, 杜颖华<sup>3</sup>

引用: 马晓婷, 赵智华, 李科军, 等. 景深延长型人工晶状体对散光包容性的研究进展. 国际眼科杂志, 2024, 24(8): 1280-1284.

基金项目: 河北省医学科学研究课题计划 (No.20190341); 河北省重点研发计划项目 (No.19277780D)

作者单位: <sup>1</sup>(050057) 中国河北省石家庄市, 河北省人民医院眼科; <sup>2</sup>(050011) 中国河北省石家庄市, 河北医科大学; <sup>3</sup>(100050) 中国北京市, 首都医科大学附属北京天坛医院眼科

作者简介: 马晓婷, 女, 硕士研究生, 住院医师, 研究方向: 屈光、白内障。

通讯作者: 赵智华, 女, 硕士研究生, 副主任医师, 硕士研究生导师, 研究方向: 白内障、斜弱视. 20841490@qq.com

收稿日期: 2023-08-22 修回日期: 2024-06-24

## 摘要

自1949年Harold Ridley植入了第一枚人工晶状体以来, 到景深延长型人工晶状体(EDOF IOL)在临床的广泛应用, 人工晶状体(IOL)一直在不断更新与发展, 旨在为患者提供良好的术后视觉质量。而残余散光是影响白内障患者术后视觉质量的重要因素之一, 35%-40%白内障患者散光达到1.00 D, 19%-22%白内障患者散光达到1.50 D。因此, 了解EDOF IOL对散光的包容性, 从而为患者选择合适的IOL显得十分重要。文章总结了不同类型EDOF IOL对散光的包容性及优缺点, 期望在为不同残余散光的患者选择EDOF IOL时提供参考。

关键词: 残余散光; 景深延长型人工晶状体; 视觉质量

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2024.8.19

## Advances in the inclusiveness of extended depth of focus intraocular lens for astigmatism

Ma Xiaoting<sup>1,2</sup>, Zhao Zhihua<sup>1</sup>, Li Kejun<sup>1</sup>, Du Yinghua<sup>3</sup>

**Foundation items:** Hebei Provincial Medical Science Research Project Program (No.20190341); Hebei Province Key Research and Development Plan Project (No.19277780D)

<sup>1</sup>Department of Ophthalmology, Hebei General Hospital, Shijiazhuang 050057, Hebei Province, China; <sup>2</sup>Hebei Medical University, Shijiazhuang 050011, Hebei Province, China;

<sup>3</sup>Department of Ophthalmology, Beijing Tiantan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China

**Correspondence to:** Zhao Zhihua. Department of Ophthalmology, Hebei General Hospital, Shijiazhuang 050057, Hebei Province, China. 20841490@qq.com

Received: 2023-08-22 Accepted: 2024-06-24

## Abstract

• Since the first intraocular lens (IOL) was implanted by Harold Ridley in 1949 and the widespread use of depth-of-focus extended intraocular lens (EDOF IOL) clinically, the IOL has been constantly updated and developed, aiming to provide patients with good postoperative visual quality. The residual astigmatism is one of the important factors affecting the postoperative visual quality of cataract patients, 35% - 40% of cataract patients have astigmatism of 1.00 D, and 19%-22% have astigmatism of 1.50 D. Therefore, it is important to understand the inclusiveness of EDOF IOL for astigmatism, so that the right IOL can be selected for the patient. This article summarizes the inclusiveness of different types of EDOF IOL for astigmatism and their advantages and disadvantages, with the expectation that it will provide a reference in selecting EDOF IOL for patients with different residual astigmatism.

• **KEYWORDS:** residual astigmatism; depth-of-focus extended intraocular lens; visual quality

**Citation:** Ma XT, Zhao ZH, Li KJ, et al. Advances in the inclusiveness of extended depth of focus intraocular lens for astigmatism. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2024, 24(8): 1280-1284.

## 0 引言

自1949年Harold Ridley植入了第一枚人工晶状体(intraocular lens, IOL)以来<sup>[1]</sup>, IOL开始不断地更新与发展, 传统的单焦点IOL能为白内障术后患者带来良好的远视力, 但是由于白内障术后, IOL无法改变屈光, 之前晶状体的调节不复存在<sup>[2]</sup>, 患者中视力及近视力仍然较差, 不能摆脱术后戴镜的困扰。1986年Keates植入了第一枚多焦点人工晶状体(multifocal intraocular lens, MIOL)<sup>[3]</sup>, MIOL旨在不降低患者远视力的情况下, 提高患者的中视力及近视力。与单焦点IOL相比, 植入MIOL后裸眼近距离视力(uncorrected near visual acuity, UNVA)及裸眼中距离视力(uncorrected intermediate visual acuity, UIVA)显著改善, 同时裸眼远距离视力(uncorrected distant visual acuity, UDVA)也未明显降低。然而, 尽管植入MIOL的患者可以看到远、中或近焦点上的物体, 但他们却无法在不同焦点之间获得令人满意的视觉质量。此外, MIOL会降低患者术后对比敏感度(contrast sensitivity, CS), 并且由于不同焦点的存在, 也增加光晕和眩光等不良视觉症状的发生率<sup>[4-6]</sup>。由于这些问题的出现, 对白内障术后视觉质

量的客观评价也从视力扩展到CS、眩光敏感度、调节能力、双眼视觉和波前像差等一系列评估。面对MIOL带来的这些问题,2014年第一枚景深延长型人工晶状体(depth-of-focus extended intraocular lens, EDOF IOL)问世<sup>[7]</sup>,这种IOL具有拉长的焦点以消除MIOL造成的不同焦点形成图像的重叠,从而消除患者部分不良视觉症状,提供连续视程范围<sup>[8-9]</sup>。IOL不断地更新与发展,旨在追求患者术后良好的视觉质量,而残余散光是影响白内障患者术后视觉质量的重要因素之一<sup>[10-11]</sup>。有研究显示<sup>[12]</sup>,35%-40%的白内障患者散光达到1.00 D,19%-22%的白内障患者散光达到1.50 D,因此,了解EDOF IOL对散光的包容性显得十分重要。本文对不同类型的EDOF IOL对散光的包容性进行综述,以期临床选择EDOF IOL时提供参考。

## 1 EDOF IOL的概念

焦深是焦点深度的简称,指在保持物象较为清晰的前提下,焦点沿光轴所允许移动的距离。景深是景象中能产生较为清晰影像的纵长距离,已被提议作为离焦容差的指标<sup>[13]</sup>。EDOF IOL也称为连续视程型人工晶状体(extended range of vision intraocular lens, ERV IOL)是一项能够矫正老花眼的新技术,美国眼科学会工作组发布了关于EDOF IOL的共识声明,在0.2 LogMAR视力范围内,EDOF IOL的景深至少比单焦点IOL的景深大0.50 D<sup>[9,14]</sup>。EDOF IOL具有独特的光学设计,能够提供一个拉长的焦线,这个设计的优势是能够改善MIOL存在的一些问题:如光学现象、CS下降、对固定焦点的依赖等<sup>[15]</sup>。此外,有研究显示,EDOF IOL对散光的包容性明显优于MIOL<sup>[16-17]</sup>,下文将对不同类型的EDOF IOL对散光的包容性进行总结。

## 2 EDOF IOL的分类及对散光的包容性

根据EDOF IOL的设计原理,EDOF IOL可分为两大类:第一类为单纯型EDOF IOL,这类IOL基于球差(spherical aberration, SA)或针孔效应的设计原理,通过一个延长的焦点实现术后良好的远、中、近视力;第二类为混合型EDOF IOL,这类IOL除了延长了焦点外还结合了MIOL的技术来实现术后良好的远、中、近视力,根据其设计原理又可分为衍射型EDOF IOL、折射型EDOF IOL和折射-衍射混合型EDOF IOL。

### 2.1 单纯型 EDOF IOL

**2.1.1 基于针孔效应原理设计的 EDOF IOL** 随着瞳孔直径的增大,眼的波前像差会增加,景深减小,视觉质量变差。反之,减小瞳孔直径,眼的波前像差会减小,景深增大,视觉质量变好。这是因为缩小有效瞳孔大小的针孔会导致周边光线的中断,仅允许中心光线到达视网膜,而近轴光线不易受到光学系统缺陷的影响<sup>[18-19]</sup>。

IC-8 IOL是一款基于针孔效应原理设计的EDOF IOL,该IOL由疏水性丙烯酸制成,总直径为12.5 mm,双凸面非球面光学区直径为6.0 mm,中央为直径1.36 mm针孔区,使中心及旁中心光线通过针孔区,其外嵌入3.23 mm聚偏二氟乙烯材料的环形不透明区,可以阻挡未聚焦的外

周光线<sup>[20]</sup>。Dick等<sup>[21]</sup>对比研究了植入单焦点IOL和IC-8 IOL的术后视力及视觉质量等,结果显示,患者术后残余散光达到1.50 D时,IC-8 IOL与单焦点IOL UDVA相当,但IC-8 IOL术后UIVA、UNVA显著优于单焦点IOL,UDVA、UIVA及UNVA分别能达到0.06 LogMAR、0.08 LogMAR、0.18 LogMAR,且患者术后视觉质量好,患者满意度高。Ang<sup>[22-23]</sup>也研究了IC-8 IOL对残余散光的包容性,与Dick等<sup>[21]</sup>研究结果一致,研究显示IC-8能够包容1.50 D的残余散光。此外,IC-8 IOL对于圆锥角膜、角膜移植术后、放射状角膜切开术(radial keratotomy, RK)、准分子激光原位角膜磨镶术(laser in situ keratomileusis, LASIK)术后及角膜瘢痕等角膜不规则散光的患者尤其适用,由于不规则散光不能通过植入Toric IOL矫正,因此这些患者角膜散光难以纠正,但有研究显示,对于这些角膜不规则散光的患者,IC-8 IOL植入术后依然能够提供良好的视觉质量,患者满意度高<sup>[24-25]</sup>。但是由于针孔区直径较小,患者夜间视力会有所下降<sup>[26]</sup>。

由此可见,IC-8 IOL对散光包容性很高,不仅能够包容1.50 D的残余散光,还能够包容角膜不规则散光,为患者术后提供良好的视觉质量,但由于其夜间视力差,植入IC-8 IOL前,应当了解患者生活习惯,充分与患者沟通后再进行选择。

**2.1.2 基于 SA 原理设计的 EDOF IOL** SA是指进入晶状体的中心光线和边缘光线之间的焦距差相关的像差。当瞳孔直径为6 mm时,角膜SA平均为 $+0.31 \pm 0.135 \mu\text{m}$ ,若IOL为负SA设计,则可以在一定程度上抵消角膜SA,从而在视网膜上投射更清晰的光聚焦图像,为患者提供在固定距离上提供更好的视力<sup>[27]</sup>。尽管在大多数情况下SA会增加高阶像差(higher-order aberrations, HOA)、降低患者的视觉质量。但有研究表明<sup>[28]</sup>,SA的存在能够增加景深,这成为了设计EDOF IOL的主要原理,若想IOL既能够增加景深,又不带来影响视觉质量的HOA,其关键在于SA、视觉质量与景深间的平衡。

SIFI Mini Well IOL是一款基于SA原理设计的EDOF IOL,该IOL由亲水-疏水性丙烯酸制成,总直径为10.75 mm,光学区为6 mm,设计有内、中、外3个环形区,其中央为1.9 mm的正SA设计,中周为1.05 mm环形的负SA设计、周边部为3 mm环形的单焦点设计,并且三个区域的过渡也是逐渐过渡的,这些不同的SA及平滑的过渡区能够产生连续的焦点,以增加景深,此外,该IOL附加了+3.00 D等效球镜的视近功能,从而更好地提供连续视程<sup>[29-31]</sup>。SIFI Mini Well IOL不仅能够为患者带来良好的术后远、中、近全程视力,并且术后也没有因为SA出现影响生活的光学现象,患者满意度高,此外,外环的单焦点区域还能够为患者提供良好的夜间视力<sup>[32-33]</sup>。但是该IOL对于散光的包容性相对较差,角膜散光大于0.75 D时,建议使用Toric IOL或使用其他散光包容性较好的IOL<sup>[34]</sup>。

综上,SIFI Mini Well IOL虽然能够为患者术后提供远、中、近连续视程、良好的视觉质量及良好的夜间视力。但是,该IOL对散光的包容性较低,预计患者术后角膜残

余散光超过 0.75 D 的患者不推荐使用该 IOL。

## 2.2 混合型 EDOF IOL

### 2.2.1 基于衍射原理设计的 EDOF IOL

TECNIS Symphony ZXR00 IOL 是一款基于衍射原理设计的 EDOF IOL, 该 IOL 由疏水性丙烯酸制成, 总直径为 13.0 mm, 光学区直径 6.0 mm, 后表面具有 9 个小光栅衍射环, 中央非衍射环区域的直径能够达到 1.6 mm, 比传统 MIOL 的尺寸更大, 这种设计能够增加 Kappa 角和 IOL 偏心的包容性<sup>[35]</sup>。与其他 IOL 不同: (1) 该 IOL 采用了 Echelette 衍射阶梯技术并且拥有更高的衍射级 +1 和 +2, 而其他类别 IOL 通常情况下是 0 和 +1 级, 该技术可以将光分成细长的焦线, 覆盖从远距离到中、近距离范围, 创造出连续的视程, 这种设计能够减少近景和远景图像的重叠, 从而降低眩光和光晕的发生率<sup>[36-37]</sup>。(2) 该 IOL 后表面采用 Achromatic 消色差技术, 能够增强患者术后 CS<sup>[38]</sup>。(3) 该 IOL 前表面采用双凸波前设计的非球面, 具有  $-0.27 \mu\text{m}$  的负 SA, 能够补偿角膜正 SA, 降低 HOA, 提高患者视觉质量<sup>[35]</sup>。此外, 该 IOL 设计了 360° 的磨砂边缘, 能够有效减少边缘眩光的发生<sup>[39]</sup>。

胡晓昕等<sup>[11]</sup>对比研究了 Symphony IOL 植入术后残余散光  $<0.75 \text{ D}$  和  $0.75-1.50 \text{ D}$  的视觉质量, 结果显示, Symphony IOL 能够为残余散光  $0.75-1.50 \text{ D}$  的患者提供良好的术后视力, UDVA、UIVA、UIVA 分别为 0.08 LogMAR、0.14 LogMAR、0.26 LogMAR, 且两组间 UDVA、UIVA、UNVA、CS、波前像差等客观视觉质量以及 VF-14 视功能量表等主观视觉质量指标均无统计学差异, 说明 Symphony IOL 能够为残余散光  $\leq 1.50 \text{ D}$  的患者提供良好的视觉质量。

综上所述, Symphony IOL 对散光包容性好, 能够包容  $1.50 \text{ D}$  的残余散光, 除此之外, 由于较大的中央环直径设计, Symphony IOL 还能够增加 Kappa 角及 IOL 偏心的包容性。对于术后预期角膜残余散光  $0.75-1.50 \text{ D}$  又渴望摘镜和获得良好视觉质量的患者, Symphony IOL 可以作为一个不错的选择。

### 2.2.2 基于折射原理设计的 EDOF IOL

Comfort LS-313 MF15 IOL 是一款基于折射原理设计的 EDOF IOL, 该 IOL 由亲水性丙烯酸共聚物和疏水性表面涂层制成, 总直径为 11.0 mm, 光学区为 6.0 mm, 包含一个非球面零 SA 的视远区和一个附加有  $+1.50 \text{ D}$  的扇形视近区, 通过两个区域景深的延续, 为患者提供从远距离到中距离的连续视程, 两者之间的过度区虽然仅占 5%, 但可以反射原理光轴的光线, 以防止光线叠加, 减少眩光、光晕等光现象的发生, 患者满意度高<sup>[40-43]</sup>。

Nakajima 等<sup>[44]</sup>对比研究了术前角膜散光  $<1.00 \text{ D}$  与  $1.00-2.00 \text{ D}$  两组患者的术后 UDVA、UIVA、UNVA, 结果显示, 两组患者的 UDVA、UIVA、UNVA 无统计学差异, 提示 Comfort LS-313 MF15 IOL 在一定程度上可以包容散光。郭榕等<sup>[45]</sup>研究了术前角膜散光小于  $1.00 \text{ D}$  的术后视觉质量, 结果显示 Comfort MF 15 IOL 术后患者满意度、脱镜率及夜间患者主观视觉质量良好。

虽然 Nakajima 等<sup>[44]</sup>、郭榕等<sup>[45]</sup>的研究提示 Comfort LS-313 MF15 IOL 在一定程度上可以包容散光, 但是术后残余散光是术前散光与术源性散光的矢量和<sup>[46]</sup>, 因此, 采用术前角膜散光进行分组评价 Comfort LS-313 MF15 IOL 的散光包容性会造成一定的偏差。术后残余散光对 Comfort LS-313 MF15 IOL 植入术后患者术后视觉质量的影响有待进一步研究。

### 2.2.3 基于折射-衍射原理设计的 EDOF IOL

Tecnis Synergy ZFR00 IOL 是一款结合了 EDOF 技术的折射-衍射型 EDOF IOL, 由疏水性丙烯酸制成, 总直径为 13.0 mm, 光学区直径 6.0 mm, 与 Symfoyl IOL 尺寸相同, 但 Symphony IOL 是透明的, 而 Synergy IOL 是白葡萄酒色, 能够阻挡蓝光<sup>[47]</sup>, Synergy IOL 将多焦点的近距离性能与 EDOF 性能相结合, 延长了景深, 提供了从远到近连续视程<sup>[48]</sup>, 并且 Synergy IOL 保持了 Symphony IOL 的 Achromatic 消色差技术, 矫正色差, 增强了 CS<sup>[49]</sup>。此外, Symphony 后表面有 9 个衍射环, 而 Synergy IOL 后表面有 15 个衍射环, 虽然它们的平均高度相同, 但 Synergy IOL 中衍射环的高度变化更大<sup>[50]</sup>, 可以提供更大范围的连续视程, 尤其在近距离视程的拓展尤为明显, 植入术后 6 mo 时 UNVA 能够达到 0.1 LogMAR, 因此患者术后能够拥有更好的 36 cm 处阅读视力和更快的阅读速度<sup>[49, 51]</sup>。有研究证实, 虽然 Synergy 术后远、中、近视力较好, 患者脱镜率高, 但是眩光等光学干扰现象较三焦点 IOL 高, 尤其影响患者夜间驾驶<sup>[48, 52]</sup>。

Moshirfar 等<sup>[52]</sup>在文献中指出 Synergy IOL 在术前角膜散光  $>0.80 \text{ D}$  时, 建议使用 Toric IOL。然而, Benyoussef 等<sup>[51]</sup>在研究中发现, 个别患者需要通过 LASIK 手术调整术后残余屈光不正, 需要正视化的三焦点 IOL 组中有 4 例需要调整, 而 Synergy IOL 组中仅有 1 例需要调整, 认为 Synergy IOL 似乎对球面或柱面残余屈光不正具有良好的包容性。但是这一观点及 Synergy IOL 对残余散光包容性的大小, 仍需要进一步研究。

综上所述, Tecnis Synergy ZFR00 IOL 对残余散光包容性可能大于  $0.80 \text{ D}$ , 但需要临床进一步研究证实。该 IOL 更适合于阅读较多而夜间视力需求较少的患者, 在 Synergy IOL 植入术前要充分了解患者日常生活习惯, 并告知患者术后眩光的可能性。

## 3 小结与展望

自 2014 年第一枚 EDOF IOL (Symphony) 问世以来, 各种类型的 EDOF IOL 相继问世并应用于临床, 为患者提供良好的术后视力和连续视程, 残余散光是影响白内障患者术后视觉质量的重要因素之一, 其受到术前角膜散光、切口长度、切口位置、切口隧道长度、切口形态、眼轴长度、角膜直径、散光轴位等多方面因素的影响<sup>[53]</sup>, 而 EDOF IOL 较 MIOL 包容性更强, 能够为术后残余散光较大的患者提供更好的术后视觉质量。随着科学技术的突飞猛进, 近年来应用的飞秒激光辅助白内障手术能够有效降低术后散光<sup>[54-55]</sup>。此外, Toric EDOF IOL (如 TECNIS symphony toric IOL) 也已经应用于临床, 为规则散光较大的患者提供了更多的选择<sup>[56]</sup>。但是, 如上文各种类型 EDOF IOL 的介

绍,无论是哪一类型的 EDOF IOL 均有利有弊,我们不仅要充分了解各类晶状体的优劣,还要充分了解患者的生活习惯,并且术前要告知患者术后可能会存在的问题,这样才能为患者提供精准地个性化选择,为患者提供满意的术后效果。

#### 参考文献

[1] Auffarth GU, Schmidbauer J, Apple DJ. Zum lebenswerk von sir Nicholas Harold lloyd ridley. *Der Ophthalmol*, 2001, 98 ( 11 ): 1012-1016.

[2] 俞阿勇, 瞿佳, 许琛琛, 等. 白内障超声乳化术后人工晶状体眼的相对调节. *眼科*, 2006, 15(1):20-23.

[3] Rampat R, Gatinel D. Multifocal and extended depth-of-focus intraocular lenses in 2020. *Ophthalmology*, 2021, 128(11):e164-e185.

[4] Guo YN, Wang YH, Hao R, et al. Comparison of patient outcomes following implantation of trifocal and extended depth of focus intraocular lenses: a systematic review and meta-analysis. *J Ophthalmol*, 2021, 2021:1115076.

[5] 李朝辉, 叶子, 黄扬. 多焦点人工晶状体存在“多焦点”问题. *中华眼科杂志*, 2017, 53(4):244-248.

[6] 李彤, 李富强, 窦莹, 等. 多焦点人工晶状体研究进展. *临床眼科杂志*, 2022, 30(1):85-88.

[7] Chang DH, Janakiraman DP, Smith PJ, et al. Visual outcomes and safety of an extended depth-of-focus intraocular lens: results of a pivotal clinical trial. *J Cataract Refract Surg*, 2022, 48(3):288-297.

[8] Akella SS, Juthani VV. Extended depth of focus intraocular lenses for presbyopia. *Curr Opin Ophthalmol*, 2018, 29(4):318-322.

[9] Kanclerz P, Toto F, Grzybowski A, et al. Extended depth-of-field intraocular lenses: an update. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*, 2020, 9(3):194-202.

[10] Sigireddi RR, Weikert MP. How much astigmatism to treat in cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol*, 2020, 31(1):10-14.

[11] 胡晓昕, 孟佳琪, 郑凯文, 等. 连续视程人工晶状体植入术后残余散光对视觉质量的影响. *中华眼科杂志*, 2022, 58(5):334-339.

[12] Núñez MX, Henriquez MA, Escaf LJ, et al. Consensus on the management of astigmatism in cataract surgery. *Clin Ophthalmol*, 2019, 13:311-324.

[13] Palomino-Bautista C, Sánchez-Jean R, Carmona-González D, et al. Subjective and objective depth of field measures in pseudophakic eyes: comparison between extended depth of focus, trifocal and bifocal intraocular lenses. *Int Ophthalmol*, 2020, 40(2):351-359.

[14] Sudhir RR, Dey A, Bhattacharya S, et al. AcrySof IQ PanOptix intraocular lens versus extended depth of focus intraocular lens and trifocal intraocular lens: a clinical overview. *Asia Pac J Ophthalmol*, 2019, 8(4):335-349.

[15] Baartman BJ, Karpuk K, Eichhorn B, et al. Extended depth of focus lens implantation after radial keratotomy. *Clin Ophthalmol*, 2019, 13:1401-1408.

[16] Corbelli E, Iuliano L, Bandello F, et al. Comparative analysis of visual outcome with 3 intraocular lenses: monofocal, enhanced monofocal, and extended depth of focus. *J Cataract Refract Surg*, 2022, 48(1):67-74.

[17] Xu J, Zheng TY, Lu Y. Comparative analysis of visual performance and astigmatism tolerance with monofocal, bifocal, and extended depth-of-focus intraocular lenses targeting slight myopia. *J Ophthalmol*, 2020, 2020:9283021.

[18] Franco F, Branchetti M, Vicchio L, et al. Implantation of a small aperture intraocular lens in eyes with irregular corneas and higher order aberrations. *J Ophthalmic Vis Res*, 2022, 17(3):317-323.

[19] Trindade CC, Trindade BC, Trindade FC, et al. New pinhole sulcus implant for the correction of irregular corneal astigmatism. *J Cataract Refract Surg*, 2017, 43(10):1297-1306.

[20] Hooshmand J, Allen P, Huynh T, et al. Small aperture IC-8 intraocular lens in cataract patients: achieving extended depth of focus through small aperture optics. *Eye (Lond)*, 2019, 33(7):1096-1103.

[21] Dick HB, Piovella M, Vukich J, et al. Prospective multicenter trial of a small-aperture intraocular lens in cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2017, 43(7):956-968.

[22] Ang RE. Small-aperture intraocular lens tolerance to induced astigmatism. *Clin Ophthalmol*, 2018, 12:1659-1664.

[23] Ang RE. Comparison of tolerance to induced astigmatism in pseudophakic eyes implanted with small aperture, trifocal, or monofocal intraocular lenses. *Clin Ophthalmol*, 2019, 13:905-911.

[24] Langer J, Shajari M, Kreutzer T, et al. Predictability of refractive outcome of a small-aperture intraocular lens in eyes with irregular corneal astigmatism. *J Refract Surg*, 2021, 37(5):312-317.

[25] Shajari M, Mackert MJ, Langer J, et al. Safety and efficacy of a small-aperture capsular bag-fixated intraocular lens in eyes with severe corneal irregularities. *J Cataract Refract Surg*, 2020, 46(2):188-192.

[26] Agarwal S, Thornell E. Spectacle independence in patients with prior radial keratotomy following cataract surgery: a case series. *Int Med Case Rep J*, 2020, 13:53-60.

[27] Megiddo-Barnir E, Alió JL. Latest development in extended depth-of-focus intraocular lenses: an update. *Asia Pac J Ophthalmol*, 2023, 12(1):58-79.

[28] 黄子彦, 段国平. 高阶像差对白内障人工晶状体植入术后视觉质量的影响. *山东大学耳鼻喉眼学报*, 2022, 36(6):13-18, 25.

[29] Auffarth GU, Moraru O, Munteanu M, et al. European, multicenter, prospective, non-comparative clinical evaluation of an extended depth of focus intraocular lens. *J Refract Surg*, 2020, 36(7):426-434.

[30] Breyer DRH, Kaymak H, Ax T, et al. Multifocal intraocular lenses and extended depth of focus intraocular lenses. *Asia Pac J Ophthalmol*, 2017, 6(4):339-349.

[31] Ruiz-Mesa R, Blanch-Ruiz J, Ruiz-Santos M, et al. Optical and visual quality assessment of an extended depth-of-focus intraocular lens based on spherical aberration of different sign. *Int Ophthalmol*, 2021, 41(3):1019-1032.

[32] Nowik KE, Nowik K, Kanclerz P, et al. Clinical performance of extended depth of focus (EDOF) intraocular lenses - A retrospective comparative study of mini well ready and symfony. *Clin Ophthalmol*, 2022, 16:1613-1621.

[33] Savini G, Balducci N, Carbonara C, et al. Functional assessment of a new extended depth-of-focus intraocular lens. *Eye*, 2019, 33(3):404-410.

[34] Kohnen T, Suryakumar R. Extended depth-of-focus technology in intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*, 2020, 46(2):298-304.

[35] Luo J, Liu Y, Wang F, et al. Effect of the kappa angle on depth of focus after implantation of the TECNIS Symfony intraocular lens. *Int Ophthalmol*, 2021, 41(7):2513-2520.

[36] Jackson MA, Edmiston AM, Bedi R. Optimum refractive target in patients with bilateral implantation of extended depth of focus intraocular lenses. *Clin Ophthalmol*, 2020, 14:455-462.

- [37] Zapata-Díaz JF, Rodríguez-Izquierdo MA, Ould-Amer N, et al. Total depth of focus of five premium multifocal intraocular lenses. *J Refract Surg*, 2020,36(9):578-584.
- [38] Cochener B, Concerto Study Group. Clinical outcomes of a new extended range of vision intraocular lens; International Multicenter Concerto Study. *J Cataract Refract Surg*, 2016,42(9):1268-1275.
- [39] Kohnen T, Böhm M, Hemkepler E, et al. Visual performance of an extended depth of focus intraocular lens for treatment selection. *Eye*, 2019,33(10):1556-1563.
- [40] Kim KH, Kim WS. Visual outcome and patient satisfaction of low-power-added multifocal intraocular lens. *Eye Contact Lens*, 2018,44(1):60-67.
- [41] Oshika T, Arai H, Fujita Y, et al. One-year clinical evaluation of rotationally asymmetric multifocal intraocular lens with +1.5 diopters near addition. *Sci Rep*, 2019,9(1):13117.
- [42] Song XH, Liu X, Wang W, et al. Visual outcome and optical quality after implantation of zonal refractive multifocal and extended-range-of-vision IOLs: a prospective comparison. *J Cataract Refract Surg*, 2020,46(4):540-548.
- [43] Tanabe H, Shoji T, Yamauchi T, et al. Comparative visual performance of diffractive bifocal and rotationally asymmetric refractive intraocular lenses. *Sci Rep*, 2022,12(1):19394.
- [44] Nakajima D, Takahashi H, Kobayakawa S. Clinical outcome of lentic comfort intraocular lens implantation. *J Nippon Med Sch*, 2021,88(5):398-407.
- [45] 郭榕, 李卓亚, 胡晓敏, 等. 连续视程人工晶状体和区域折射型人工晶状体植入术后视觉质量的对比分析. *国际眼科杂志*, 2022,22(8):1239-1244.
- [46] 黄瑶瑶, 胡宝琪, 王欣, 等. 白内障超声乳化术源性散光影响因素分析. *西安交通大学学报(医学版)*, 2023,44(2):263-270.
- [47] Shin DE, Lee H, Koh K. Comparative analysis of a presbyopia-correcting intraocular lens that combines extended depth-of-focus and bifocal profiles with a standard monofocal intraocular lens. *BMC Ophthalmol*, 2022,22(1):302.
- [48] Ozturkmen C, Kesim C, Gunel Karadeniz P, et al. Comparative analysis of a new hybrid EDOF-multifocal diffractive intraocular lens with a trifocal diffractive intraocular lens. *Eur J Ophthalmol*, 2022,32(5):2961-2966.
- [49] Yan WJ, Łabuz G, Khorammia R, et al. Trifocal intraocular lens selection; predicting visual function from optical quality measurements. *J Refract Surg*, 2023,39(2):111-118.
- [50] Shin DE, Lee H, Kim TI, et al. Comparison of visual results and optical quality of two presbyopia-correcting intraocular lenses: TECNIS symphony versus TECNIS synergy. *Eur J Ophthalmol*, 2022,32(6):3461-3469.
- [51] Benyoussef AA, Reboux N, Cochener B. Comparison of bilateral reading performance among two presbyopia-correcting intraocular lenses. *J Refract Surg*, 2022,38(7):428-434.
- [52] Moshirfar M, Stapley SR, Corbin WM, et al. Comparative visual outcome analysis of a diffractive multifocal intraocular lens and a new diffractive multifocal lens with extended depth of focus. *J Clin Med*, 2022,11(24):7374.
- [53] 谢川, 江燕, 余小强. 陡峭子午线透明角膜切口白内障超乳术对视功能和角膜散光及泪膜变化的影响. *国际眼科杂志*, 2023,23(2):316-319.
- [54] Barnett BP. FOCUSED (femtosecond optimized continuous uncorrected sight with EDOF and diffractive multifocal IOLs) -A review. *Curr Opin Ophthalmol*, 2021,32(1):3-12.
- [55] das Neves NT, Boianovsky C, Lake JC. Functional profile of a customized wound parameter in femtosecond laser-assisted corneal incision for cataract surgery. *Clin Ophthalmol*, 2023,17:175-181.
- [56] Sandoval HP, Lane S, Slade S, et al. Evaluating rotational stability of an extended depth of focus toric intraocular lens using a slit lamp and image-based analysis. *Clin Ophthalmol*, 2020,14:2405-2410.