

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2025.24.006
文章编号: 1005-8982 (2025) 24-0034-05

综述

三焦点人工晶状体在屈光性白内障手术中的视功能变化*

刘雨, 包秀丽

(内蒙古医科大学附属医院 眼科, 内蒙古 呼和浩特 010050)

摘要: 三焦点人工晶状体通过衍射、折射或混合光学设计, 可同时矫正远、中、近全距离视力, 逐渐成为白内障手术中替代传统单焦点人工晶状体的重要选择。然而, 术后早期视功能恢复的动态变化、光干扰控制、患者适应性方面及与单焦点人工晶状体的差异仍需系统探讨。该文基于近期技术进展, 系统综述了三焦点人工晶状体的光学原理、术后视功能改善特征及临床应用挑战, 为临床决策与研究方向提供参考。

关键词: 白内障; 三焦点人工晶状体; 屈光状态; 视功能改善; 满意度

中图分类号: R776.1

文献标识码: A

Visual function changes associated with trifocal intraocular lens implantation in refractive cataract surgery*

Liu Yu, Bao Xiu-li

(Department of Ophthalmology, The Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University,
Hohhot, Inner Mongolia 010050, China)

Abstract: Trifocal intraocular lenses, designed based on diffractive, refractive, or hybrid optical principles, can simultaneously correct distance, intermediate, and near vision, and are gradually becoming an important alternative to conventional monofocal intraocular lenses in cataract surgery. However, the dynamic changes in the early postoperative visual function recovery, the control of optical disturbances, the patient's adaptability, and the differences from monofocal intraocular lenses still need to be systematically explored. Based on the recent technological advances, this article systematically reviews the optical principles of trifocal intraocular lens, the characteristics of postoperative visual function improvement, and the challenges in clinical applications, so as to provide a reference for clinical decision-making and research directions.

Keywords: cataract; trifocal intraocular lens; refractive status; visual function improvement; satisfaction degree

自1949年HAROLD RIDLEY首次植入人工晶状体(intraocular lens, IOL)开启眼科革命以来, 该技术经历了从单一功能到多维度视觉重建的跨越式发展^[1]。早期IOL以简单球面刚性镜片为主, 而

HAROLD RIDLEY设计的首枚晶状体因尺寸过大、重量偏高存在局限性, 仅提供基础屈光矫正^[2]。随着白内障手术从单纯复明转向以提升“功能性视力”为目标的屈光性手术, 传统的单焦点IOL由

收稿日期: 2025-05-28

* 基金项目: 内蒙古自治区卫生健康科技计划项目(No: 2024GLLH0346、202201240); 内蒙古自治区科技计划项目(2022YFSH0080); 内蒙古医科大学校级科研平台建设计划项目(PTKY2023029)

[通信作者] 包秀丽, E-mail: ophbaxili@hotmail.com, Tel: 18504716806

于缺乏调节能力,在为患者提供最佳近视力方面存在局限性^[3]。为此,三焦点IOL应运而生,其中德国卡尔蔡司医疗技术有限公司的AT LISA tri 839MP在临床上得到了广泛的应用,其在80 cm处提供中间焦点,在40 cm处提供近焦点,可为患者提供从远到近的清晰视力,取得了良好的效果^[4-5]。通过三焦点等光学设计突破单焦点限制,在重建远、中、近全程视力的同时,可显著降低患者术后对眼镜的依赖,推动屈光性白内障手术向视觉质量与生活质量双重优化的方向发展。

1 三焦点IOL设计原理

三焦点IOL技术的原理基于光的衍射和折射,通过增加特定的屈光度,促使光线在多个焦点处汇聚^[6-7]。然后,大脑会识别出1个清晰的点,从而在特定且通常固定的距离上提供清晰的视觉。第一个市售的衍射三焦点IOL是FineVision IOL(美国英属维尔京群岛)^[2],其晶状体通常具有预定的球面或复曲面度数,并结合非球面度来矫正角膜球面像差。

两种轮廓都叠加在IOL表面,以实现三焦点功能。IOL内置负球差抵消角膜正球差,提升对比敏感度^[8]。IOL的切趾效应是指通过对IOL光学部边缘进行特殊设计和处理,以减少光学部边缘对光线的散射和衍射等不良影响^[2]。这种切趾效应源自晶状体从中心到周边的衍射阶梯高度逐渐降低,这优化了近距、中距和远距焦点之间的光分布,尤其是在瞳孔大小变化的情况下。在明亮环境中瞳孔较小,光线主要射向IOL的中央部分,这最大限度地发挥了三焦点的优势。这种切趾效应与瞳孔的自然变化规律相契合。在昏暗环境中瞳孔较大,切趾效应确保较少的能量射向近视力和中距离视力焦点,而更多地射向远视力焦点。较低的阶梯高度也减少了由于阶梯本身的散射而产生的不必要的光学伪像。

2 三焦点IOL的临床优势

2.1 全距离视力

三焦点IOL可同时矫正白内障和调节老视,显著提高患者的术后远、中、近视力,从而提升生活质量。许多研究报道称,从术前到术后,未矫

正或矫正后的远至近视力都有显著改善^[9-11]。ZHOU等^[12]研究表明,三焦点IOL提供远、中、近3个焦点,覆盖从远到近的连续视力。HAYASHI等^[13]发现在早期阶段,三焦点IOL视力改善范围比单焦点IOL更广,改善程度也更大。KOHNNEN等^[14]研究显示,植入蔡司AT LISA tri 839MP的术后3个月,所有患者远视力完全脱镜,88%患者中视力完全脱镜,88%患者无须眼镜辅助阅读。离焦曲线是评估IOL全距离视力的重要指标,三焦点IOL的曲线通常呈现3个清晰的峰值,且过渡平滑。SHEN等^[15]研究表明,三焦点IOL的离焦曲线较双焦点IOL更平滑,峰值过渡自然,减少了视力跳跃感。

2.2 视觉满意度

在眼科临床实践中,IOL植入手术的效果备受关注。临床研究表明,三焦点IOL比双焦点IOL提供更好的视觉结果,患者对远、中和近视力的满意率很高^[16-17]。大量临床观察显示,接受手术的患者普遍反馈其日常任务执行能力显著提升,如阅读、计算机操作和不借助眼镜即可进行的驾驶行为等^[18-19]。

值得注意的是,患者术前用眼习惯对术后满意度有着不可忽视的影响。近视患者术前已适应较短阅读距离且近视力清晰,术后却常对三焦点IOL提供的近焦点感到不适。不过,高度近视患者由于术前长期佩戴厚重眼镜,对手术效果的期望值相对低,术后反而有着较高的主观满意度^[20]。而远视和正视患者,因处于老花眼晚期,术前常需频繁更换老花镜,近距视物困难。植入三焦点IOL后,其无需眼镜便能清晰视物,远近皆可,满意度也随之显著提高^[12]。视觉舒适度对于提高近距离任务的效率至关重要。

3 影响三焦点IOL视功能改善的因素

3.1 神经适应性

据报道,更好的近距和中距视力、更差的对比敏感度及更严重的光晕和眩光症状是三焦点IOL的特征^[15,21-23]。三焦点IOL眼的视觉功能在早期确实会有所改善,但由于复杂的光衍射现象^[14,24],术后即刻出现的这些并发症可能会对三焦点IOL的视觉功能产生更为明显的干扰,这可能与大脑适应速度较慢或IOL光学设计相关。神经适应性通常需

要 3~6 个月, 年轻患者适应更快, 而老年患者可能需要更长时间。HAYASHI 等^[13]认为三焦点 IOL 在视觉图像的大脑感知接收上存在延迟这一因素最为关键, 因为投射到视网膜上的图像较为复杂。NISHI 等^[25]认为年龄是术后恢复的重要影响因素, 高龄患者可能需要更长的神经适应性时间, 还发现明视条件下瞳孔直径更小, 可能影响三焦点 IOL 的光学表现, 进而降低视觉质量。

3.2 视力改善时间

三焦点 IOL 能显著改善术前或术后、未矫正或矫正后的远至近视力。相比之下, 很少有研究探讨术后期间视觉功能是如何变化的^[20,26], 然而可能会在更长时间内使植入三焦点 IOL 的眼睛的视觉功能发生变化。BAYKARA 等^[26]研究显示, 在手术后 12 个月内, 远、中、近距离的未矫正和矫正视力都有显著提高。

4 不同屈光状态患者的视功能改善差异

4.1 远视、正视或近视患者

既往研究表明, 对于远视、正视或近视患者, 三焦点 IOL 可以提供令人满意的视力和屈光效果^[27-30]。对于眼轴 (axial length, AL) 长度各异的高度近视患者, 植入三焦点 IOL 后, 也可以收获良好的视觉效果^[20,31]。

白内障会导致近视屈光度增加, 所以 AL 是评价白内障患者术前屈光状态的关键指标。ZHOU 等^[12]研究指出, 远视和正视白内障患者, 术后未矫正中间视力显著优于低度和中度近视患者; 而低度和中度近视术后未矫正近视力则明显逊于其他两组。SUN 等^[32]发现长 AL 组 (AL> 25.5 mm) 的未矫正近视力较高, 但在问卷调查中, 该组患者在近距离活动时脱镜率较低, 且在近距离日常活动、心理健康及在日常生活角色适应方面存在一定困难。MENG 等^[20]研究表明, 高度近视患者对术后视力满意度较高, 可摆脱长期佩戴沉重眼镜的体验, 能有效减轻高度近视患者对三焦点 IOL 可能存在的轻微“副作用”的顾虑。

4.2 老视患者

老花眼作为一种极为常见的屈光不正问题, 在眼科临床中备受关注。据统计, 全球范围内约有 18 亿人正受到老花眼的困扰, 成为最为普遍的

屈光问题之一, 并且预计到 2030 年, 这一数字将攀升至 21 亿^[33]。不仅如此, 未矫正或矫正不足的老花眼还会带来显著的社会经济影响。相关估计显示, 每年全球因老花眼问题导致的生产力损失高达约 2 500 万美元^[34]。

随着人口老龄化进程的加快, 对老花眼矫正的临床需求日益增长。在白内障手术过程中实现老花眼矫正, 已成为眼科领域的重要研究方向。这一手术对患者个体意义重大, 因而对新型 IOL 的应用提出了迫切需求^[35]。相较于早期产品, 三焦点 IOL 须具备更卓越的性能, 能够在远、中、近不同距离下为患者提供更优质的视力。近距离视力在老年人的日常生活中发挥着关键作用, 如阅读书籍和使用电子设备等, 改善这一距离的视力对于提升老年人的生活质量至关重要。

5 总结

近年来, 随着眼科技术的不断发展, 众多新型 IOL 涌入市场。一系列具备先进光学设计的产品相继问世, 并在初步临床应用中取得了令人鼓舞的成效^[36]。由于白内障患者对术后视觉质量、脱镜率和满意度的要求越来越高, 三焦点 IOL 因其良好的视觉效果而得到广泛应用^[37-39]。三焦点 IOL 凭借其多焦点光能分配和优化的离焦曲线, 在远、中、近全程视力方面均优于传统单焦点、双焦点 IOL, 并显著提高患者脱镜率和生活质量。如今的白内障手术几乎如已故的 Emmanuel Rosen 所正确假设的那样, 是屈光手术^[40], 其能够高效治疗屈光不正^[41], 并为患者提供不同距离的良好视力, 而无须佩戴眼镜。

为满足患者在不同距离下获得良好视力以及脱镜需求, 诸多景深扩展型 (extended depth of focus, EDOF) IOL 和三焦点 IOL 被研发出来。三焦点 IOL 虽然在屈光性白内障手术中提供了远、中、近全程视力, 但其仍存在诸多不足和劣势。三焦点 IOL 通过衍射光学设计分配光线能量, 常引发光晕、眩光和星芒等视觉干扰现象, 尤其是在夜间或低光照条件下更为明显^[21]。已有研究表明, 在以患者为中心的评估中, 现有的三焦点 IOL 设计存在视觉异常发生率较高和对比敏感度较差的情况^[42]。相较于单焦点 IOL, 在如黄昏或者雾天的低对比度

环境下,三焦点 IOL 的对比敏感度下降^[43]。三焦点 IOL 虽比单焦点 IOL 为患者提供了更多选择,但因其屈光度数固定,灵活性受限,患者只能在特定近视力范围内视物^[44]。此外三焦点 IOL 需要大脑视觉中枢适应多焦点成像,与 EDOF IOL 和单焦点 IOL 相比,患者可能需要较长的适应时间^[43]。然而三焦点 IOL 并非适用于所有患者,具有严格的术前筛选标准,如角膜不规则散光、眼底病变和瞳孔异常等情况可能影响术后效果^[45]。三焦点 IOL 通常比单焦点 IOL 价格昂贵,且医保可能不覆盖。EDOF IOL 和三焦点 IOL 在远视力、近视力和脱镜方面的表现优于单焦点 IOL,其中 EDOF IOL 在减少光学干扰的同时提供了更好的中视力^[46]。

综上所述,三焦点 IOL 在屈光性白内障手术的应用已取得初步成效。但三焦点 IOL 的神经适应性尚不明朗,需探究术后不同时期由神经适应性导致的视觉功能细微变化。另外,需要进一步地研究来考察在更长的随访时间内视觉功能的变化情况。未来研究可进一步优化光学设计以减少光干扰,并探讨个性化 IOL 计算以提升匹配精确度。

参 考 文 献:

- [1] SARWAR H, MODI N. Sir Harold Ridley: innovator of cataract surgery[J]. J Perioper Pract, 2014, 24(9): 210-212.
- [2] SIMPSON M J, GATINEL D, FARIA-RIBEIRO M, et al. Design concepts for advanced-technology intraocular lenses [invited] [J]. Biomed Opt Express, 2025, 16(1): 334-361.
- [3] NIJKAMP M D, DOLDERS M G T, de BRABANDER J, et al. Effectiveness of multifocal intraocular lenses to correct presbyopia after cataract surgery: a randomized controlled trial[J]. Ophthalmology, 2004, 111(10): 1832-1839.
- [4] XU Z Q, CAO D M, CHEN X, et al. Comparison of clinical performance between trifocal and bifocal intraocular lenses: a meta-analysis[J]. PLoS One, 2017, 12(10): e0186522.
- [5] SERDIUK V, USTYMENKO S, FOKINA S, et al. Comparison of three different presbyopia-correcting intraocular lenses[J]. Rom J Ophthalmol, 2020, 64(4): 364-379.
- [6] TERWEE T, WEEBER H, van der MOOREN M, et al. Visualization of the retinal image in an eye model with spherical and aspheric, diffractive, and refractive multifocal intraocular lenses[J]. J Refract Surg, 2008, 24(3): 223-232.
- [7] SALERNO L C, TIVERON M C Jr, ALÍO J L. Multifocal intraocular lenses: types, outcomes, complications and how to solve them[J]. Taiwan J Ophthalmol, 2017, 7(4): 179-184.
- [8] SALAH-MABED I, DEBELLEMANIÈRE G, RAMPAT R, et al. High hyperopic LASIK with reduction of corneal prolateness to control-induced spherical aberration[J]. J Cataract Refract Surg, 2024, 50(9): 919-925.
- [9] CHO J Y, WON Y K, PARK J, et al. Visual outcomes and optical quality of accommodative, multifocal, extended depth-of-focus, and monofocal intraocular lenses in presbyopia-correcting cataract surgery: a systematic review and Bayesian network meta-analysis[J]. JAMA Ophthalmol, 2022, 140(11): 1045-1053.
- [10] WANG M M, CORPUZ C C C, FUJIWARA M, et al. Visual and optical performance of diffractive multifocal intraocular lenses with different haptic designs: 6 month follow-up[J]. Clin Ophthalmol, 2014, 8: 919-926.
- [11] AGRESTA B, KNORZ M C, KOHNEN T, et al. Distance and near visual acuity improvement after implantation of multifocal intraocular lenses in cataract patients with presbyopia: a systematic review[J]. J Refract Surg, 2012, 28(6): 426-435.
- [12] ZHOU J, ZHAN X, HUO Y, et al. Visual effects of trifocal intraocular lens implantation in cataract patients with different refractive states[J]. BMC Ophthalmol, 2025, 25(1): 125.
- [13] HAYASHI K, YOSHIDA M, MANABE S I, et al. Improvements in visual function early after cataract surgery in eyes implanted with multifocal intraocular lenses[J]. Jpn J Ophthalmol, 2025, 69(1): 32-42.
- [14] KOHNEN T, TITKE C, BÖHM M. Trifocal intraocular lens implantation to treat visual demands in various distances following lens removal[J]. Am J Ophthalmol, 2016, 161: 71-77.
- [15] SHEN Z R, LIN Y C, ZHU Y N, et al. Clinical comparison of patient outcomes following implantation of trifocal or bifocal intraocular lenses: a systematic review and meta-analysis[J]. Sci Rep, 2017, 7: 45337.
- [16] 李晶, 尹双, 刘丽昆, 等. 不同种类人工晶状体植入术后患者的客观视觉质量及视觉相关生活质量的对比研究[J]. 眼科新进展, 2022, 42(6): 452-455.
- [17] COCHENER B, VRYGHEM J, ROZOT P, et al. Clinical outcomes with a trifocal intraocular lens: a multicenter study[J]. J Refract Surg, 2014, 30(11): 762-768.
- [18] HWANG H S, AN D, KIM H S, et al. Comparison of visual efficacy and patient's satisfaction between two toric IOLs, enhanced for intermediate vision and monofocal[J]. BMC Ophthalmol, 2024, 24(1): 378.
- [19] LYRA J M D A G, de ALMEIDA M S G, LIRA L D A B, et al. Visual, clinical and quality of life outcomes of a new multifocal IOL with optimized diffractive grating: a non-randomized clinical trial[J]. BMC Ophthalmol, 2025, 25(1): 57.
- [20] MENG J Q, FANG Y W, LIAN J C, et al. Visual and patient-reported outcomes of a diffractive trifocal intraocular lens in highly myopic eyes: a prospective multicenter study[J]. Eye Vis (Lond), 2023, 10(1): 19.
- [21] KHANDELWAL S S, JUN J J, MAK S, et al. Effectiveness of multifocal and monofocal intraocular lenses for cataract surgery and lens replacement: a systematic review and meta-analysis[J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2019, 257(5): 863-875.

- [22] JONKER S M R, BAUER N J C, MAKHOTKINA N Y, et al. Comparison of a trifocal intraocular lens with a +3.0 D bifocal IOL: results of a prospective randomized clinical trial[J]. J Cataract Refract Surg, 2015, 41(8): 1631-1640.
- [23] de SILVA S R, EVANS J R, KIRTHI V, et al. Multifocal versus monofocal intraocular lenses after cataract extraction[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2016, 12(12): CD003169.
- [24] DICK H B, ANG R E, CORBETT D, et al. Comparison of 3-month visual outcomes of a new multifocal intraocular lens vs a trifocal intraocular lens[J]. J Cataract Refract Surg, 2022, 48(11): 1270-1276.
- [25] NISHI Y, NISHI H, FUKUI M, et al. Clinical assessment of brain adaptation following multifocal intraocular lens implantation[J]. BMC Ophthalmol, 2025, 25(1): 116.
- [26] BAYKARA M, AKOVA Y A, ARSLAN O S, et al. Visual outcomes at 12 months in patients following implantation of a diffractive multifocal intraocular lens[J]. Ophthalmol Ther, 2015, 4(1): 21-32.
- [27] ALFONSO J F, FERNÁNDEZ-VEGA-CUETO A, ALFONSO-BARTOLOZZI B, et al. Visual and refractive outcomes in hyperopic pseudophakic patients implanted with a trifocal intraocular lens[J]. Clin Ophthalmol, 2019, 13: 2261-2268.
- [28] PAUL C, GLÄSER S, KIRALY L, et al. Patient-reported quality of life and satisfaction after refractive lens extraction using a diffractive trifocal IOL: a multicenter retrospective cohort study[J]. J Refract Surg, 2021, 37(11): 768-774.
- [29] ZHOU S W, FIGUEIREDO A G D A, ABULIMITI A, et al. Evaluation of life quality of patients submitted to cataract surgery with implantation of trifocal intraocular lenses[J]. J Pers Med, 2023, 13(3): 451.
- [30] SHEN J Y, CAI L, ZHUO B X, et al. Binocular visual outcomes comparison of two trifocal intraocular lenses in high-myopic cataract patients: a 1-year multicenter study[J]. Am J Ophthalmol, 2023, 254: 1-10.
- [31] LIU H, LI F F, XIA H J, et al. Visual quality after implantation of trifocal intraocular lenses in highly myopic eyes with different axial lengths[J]. Int J Ophthalmol, 2021, 14(3): 371-377.
- [32] SUN T, LIU Y Y, ZHAO X R, et al. Presbyopia-correcting performance and subjective outcomes of a trifocal intraocular lens in eyes with different axial lengths: a prospective cohort study[J]. Front Med (Lausanne), 2022, 9: 980110.
- [33] FRICKE T R, TAHHAN N, RESNIKOFF S, et al. Global prevalence of presbyopia and vision impairment from uncorrected presbyopia: systematic review, meta-analysis, and modelling[J]. Ophthalmology, 2018, 125(10): 1492-1499.
- [34] BERDAHL J, BALA C, DHARIWAL M, et al. Patient and economic burden of presbyopia: a systematic literature review[J]. Clin Ophthalmol, 2020, 14: 3439-3450.
- [35] GOLDMAN G. Clinical results with a multifocal intraocular lens with a novel optical design[J]. BMC Ophthalmol, 2024, 24(1): 269.
- [36] DICK H B, GERSTE R D. Future intraocular lens technologies[J]. Ophthalmology, 2021, 128(11): e206-e213.
- [37] BILBAO-CALABUIG R, LLOVET-RAUSELL A, ORTEGA-USOBIAGA J, et al. Visual outcomes following bilateral Implantation of two diffractive trifocal intraocular lenses in 10 084 Eyes[J]. Am J Ophthalmol, 2017, 179: 55-66.
- [38] KARAM M, ALKHOWAITER N, ALKHABBAZ A, et al. Extended depth of focus versus trifocal for intraocular lens implantation: an updated systematic review and meta-analysis[J]. Am J Ophthalmol, 2023, 251: 52-70.
- [39] KHORAMNIA R, KRETZ F T A, GERL M, et al. Long-term clinical outcomes after bilateral implantation of two trifocal diffractive IOLs[J]. J Refract Surg, 2023, 39(12): 798-807.
- [40] ROSEN E. Cataract surgery is refractive surgery[J]. J Cataract Refract Surg, 2012, 38(2): 191-192.
- [41] YOO S H, ZEIN M. Vision restoration: cataract surgery and surgical correction of myopia, hyperopia, and presbyopia[J]. Med Clin North Am, 2021, 105(3): 445-454.
- [42] WANG S Y, STEM M S, OREN G, et al. Patient-centered and visual quality outcomes of premium cataract surgery: a systematic review[J]. Eur J Ophthalmol, 2017, 27(4): 387-401.
- [43] 吕伟亮, 刘欣华, 张静. 两焦点与三焦点人工晶状体植入术后视觉质量的比较[J]. 国际眼科杂志, 2020, 20(1): 41-44.
- [44] SUDHIR R R, 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[J]. Asia Pac J Ophthalmol (Phila), 2019, 8(4): 335-349.
- [45] BISSEN-MIYAJIMA H, OTA Y, MINAMI K, et al. Influence of visual field on visual acuity and contrast sensitivity in open-angle glaucoma eyes with monofocal and extended depth-of-focus intraocular lenses[J]. Ophthalmol Ther, 2024, 13(11): 2919-2929.
- [46] WANG J H, LUO J W, YANG W Y, et al. Efficacy and comfort following the implantation of extended depth of focus, multifocal, and monofocal intraocular lenses in cataract patients [J]. BMC Ophthalmol, 2024, 24(1): 423.

(李科 编辑)

本文引用格式: 刘雨, 包秀丽. 三焦点人工晶状体在屈光性白内障手术中的视功能变化[J]. 中国现代医学杂志, 2025, 35(24): 34-38.

Cite this article as: LIU Y, BAO X L. Visual function changes associated with trifocal intraocular lens implantation in refractive cataract surgery[J]. China Journal of Modern Medicine, 2025, 35(24): 34-38.