

非恒定像差非球面人工晶状体的研究现状与进展

刘彧琦, 王静, 张劲松

引用: 刘彧琦, 王静, 张劲松. 非恒定像差非球面人工晶状体的研究现状与进展. 国际眼科杂志 2019; 19(2): 248-251

作者单位: (110005) 中国辽宁省沈阳市, 中国医科大学附属第四医院眼科 中国医科大学眼科医院 辽宁省晶状体学重点实验室

作者简介: 刘彧琦, 在读硕士研究生, 研究方向: 白内障。

通讯作者: 张劲松, 硕士, 教授, 博士研究生导师, 主任医师, 中国医科大学眼科医院院长, 研究方向: 白内障基础与临床研究.

cmu4h-zjs@126.com

收稿日期: 2018-07-26 修回日期: 2018-12-25

摘要

随着白内障手术技术和人工晶状体(intraocular lens, IOL)的不断发展, IOL植入术后视觉质量的评估成为了研究热点, 而像差正是影响视觉质量的重要因素。IOL经过了60多年的发展, 在光学设计上做出了很大改进, 由于传统的球面IOL具有正球差, 不能矫正正常人角膜存在的正球差, 因此改良为具有负球差、零球差的非球面IOL, 前者可矫正角膜正球差、提高对比敏感度、改善视觉质量, 但如果光学位置不匹配, 将形成对视觉效果影响更大的其他高阶像差; 后者虽然对偏中心和偏位有很好的耐受性, 但仍不能抵消来自角膜的正像差。非恒定像差IOL的问世为白内障医生解决这一问题提供了新途径。本文拟对像差的概念、不同种类非球面IOL的设计原理及优缺点、非恒定像差非球面IOL的临床应用效果观察等方面进行阐述。

关键词: 白内障; 人工晶状体; 非恒定像差; 非球面

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2019.2.14

Research status and progress of non-constant aberration aspherical IOL

Yu-Qi Liu, Jing Wang, Jin-Song Zhang

Department of Ophthalmology, the Fourth Affiliated Hospital of China Medical University, Eye Hospital of China Medical University; the Key Lenticular Laboratory of Liaoning Province, Shenyang 110005, Liaoning Province, China

Correspondence to: Jin - Song Zhang. Department of Ophthalmology, the Fourth Affiliated Hospital of China Medical University, Eye Hospital of China Medical University; the Key Lenticular Laboratory of Liaoning Province, Shenyang 110005, Liaoning Province, China. cmu4h-zjs@126.com

Received: 2018-07-26 Accepted: 2018-12-25

Abstract

• With the continuous development of cataract surgery and intraocular lens (IOL), the evaluation of visual

quality after IOL implantation has become a research hotspot, and aberration is an important factor that affecting visual quality. After more than 60y of development, IOL has made great improvement in optical design. Due to the fact that conventional spherical IOL has a positive spherical aberration and cannot correct the positive spherical aberration existing in the normal human cornea, it is improved to an aspherical IOL having a negative spherical aberration and a zero spherical aberration. The former can correct the cornea positive spherical aberration, improve the contrast sensitivity and improve visual quality. However, if the optical position does not match, the formation of other higher-order aberrations will have greater impact on visual effects. Although the latter is well tolerated to tilt and decentration, it still cannot compensate for the positive aberration from the cornea. The advent of the non-constant aberration IOL provides a new way for cataract surgeons to solve this problem. In this paper, the concept of aberration, the design principle and advantages and disadvantages of different kinds of aspheric IOL, as well as the observation of clinical application effect of non-constant aberration aspheric IOL are discussed.

• KEYWORDS: cataract; intraocular lens; non-constant aberration; aspheric surface

Citation: Liu YQ, Wang J, Zhang JS. Research status and progress of non-constant aberration aspherical IOL. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2019; 19(2): 248-251

0 引言

白内障手术中吸除晶状体会导致人眼调节能力的丧失^[1], 因此人们需要植入人工晶状体来解决屈光问题, 而随着超声乳化白内障吸除术和人工晶状体的不断发展, 白内障手术已经从单纯的复明手术转变为高质量的屈光手术。白内障手术患者对术后视觉质量的要求日益提高, 不仅要“看得见”, 更要“看得清楚”。为了满足患者的需求, 科学技术人员设计出一代又一代IOL, 而近些年新兴的非恒定像差非球面IOL使白内障患者术后的视觉质量及生活质量得到了进一步的提升。本文拟对像差的概念、不同种类非球面IOL的设计原理及优缺点、非恒定像差非球面IOL的临床应用效果观察等方面进行分析, 以期对临床医生及白内障患者在IOL的选择上提供一定指导作用。

1 人眼的像差

非球面IOL的光学成像原理首先要从像差说起。光线偏离理想光路, 导致物体上的点对应于视网膜上不是一个理想的像点, 而是一个发散的光斑, 其结果使整个视网

膜像对比度下降、视觉模糊,这种成像的偏差称为像差。人眼的角膜球面像差为正性,我国年龄相关性白内障患者的角膜球差平均值为 $0.266 \pm 0.010 \mu\text{m}$ ^[2],且年龄与角膜球差大小呈正相关^[3]。青年时期,角膜的正性球差可以被晶状体的负性球差所补偿,使得人眼的总球差很低,成像质量较佳。随着年龄的增长,晶状体的光学特性发生改变,逐渐转变为正性球差,增大了全眼球差^[4],这会产生夜间视力差、光晕、眩光等症状^[5]。白内障或屈光性晶状体手术中,忽视角膜球差可显著降低患者术后视力,尤其是当他们处于暗视条件时^[6]。

2 不同种类非球面 IOL 的设计原理及优缺点

传统的 IOL 为球面设计,存在明显的正性球差,可使全眼像差增加,导致视网膜上的成像位置不一,从而降低视网膜成像质量^[7],因此患者存在视物模糊、眩光、暗视力差等多种成像问题^[8]。而非球面 IOL 可以将通过晶状体不同部位的光线聚集于中轴线的同一点上,从而使视网膜成像质量提高。

2.1 非球面零球差 IOL 非球面零球差 IOL 自身无球差,不能矫正角膜的正性球差,患者植入后,保留部分的正性球差,可以从某种程度上增加焦深,从而提高了眼球屈光的假性调节力^[9]。并且其对 IOL 的偏中心、偏位有很好的耐受性。

2.2 非球面负球差 IOL 如今被人们广泛应用的非球面负球差 IOL(又称像差矫正 IOL),其自身的球差值为负,可矫正角膜正性球差,从而减小人眼总的球面像差、提高对比敏感度^[10],其保留部分的垂直彗差,有助于改善近视的视觉质量^[11]。但其光学特性依赖于患者的角膜形状和视觉中心,如果 IOL 的光学位置与人眼不匹配,将产生对视效果影响更大的其他高阶像差。朱海丰等^[12]认为,当 IOL 在眼内的倾斜、偏心程度一定时,负球差 IOL 的球差值越大,其倾斜和偏心对患者视觉质量的降低越明显。

2.3 新型 IOL 近年来,随着医学研究水平的发展,非球面 IOL 的新设计也层出不穷:(1)非恒定像差非球面 IOL:以德国蔡司公司 XL--Stabi Z0 和 CT LUCIA 601P(Y)为代表的非恒定像差非球面 IOL 是指从晶状体的中心到周边部球差值不恒定,晶状体中心部为负球差,周边部接近零球差。同时结合了负球差 IOL 和零球差的优点,使其既可以提高暗光下的对比敏感度,改善视觉质量,又减少了高阶像差(如彗差),增强了晶状体对偏中心和偏位的抵抗性。(2)非球面平衡曲线设计(ABC 设计)IOL:有着非球面平衡曲线设计(ABC 设计)的 HOYA(iSert © 251, HOYA)IOL,在中央大约 2.5mm 的光学区细分为 2 个区域,1 区的屈光力额外增加了大约 0.2D,2 区做了相应的凹表面处理,凹凸表面结合的设计产生干涉效应,可增强视网膜中心成像、减少彗差,从而提高了视觉质量。(3)高次非球面 IOL:以普诺明一片式高次非球面 IOL 为代表的高次非球面 IOL,是利用非球面方程高次项来补偿 IOL 在倾斜和偏心条件下产生的高阶像差(主要为彗差、三叶像差),这使得 IOL 无论处于何种偏心和倾斜的情况下,均能为人们提供优秀的视觉质量。

3 非恒定像差非球面 IOL 的临床应用效果观察

3.1 非恒定像差非球面 IOL 与视力 Stepanov 等^[13]研究年龄相关性白内障患者 38 例 43 眼,年龄 56~91(平均

70 ± 8)岁,对其进行超声乳化白内障吸除术后植入非恒定像差(CT Lucia 601P) IOL,其术前未矫正视力(UCVA)和最佳矫正视力(BCVA)平均值分别为 0.3 ± 0.18 、 0.58 ± 0.21 。术后 4mo UCVA 和 BCVA 平均值分别为 0.7 ± 0.15 、 0.94 ± 0.08 ,由此可见非恒定像差非球面 IOL 可使患者术后视力显著提高。Borkenstein 等^[14]对非恒定像差(CT LUCIA 611P) IOL 植入 1a 后的患者进行临床效果观察,也得到了类似的结论,BCVA 由术前平均 0.48(LogMAR)提高到术后 1a 平均 0.02(LogMAR)。Borkenstein 等^[15]对植入 CT LUCIA 601P IOL 的患者进行临床调查,患者术后满意度非常高,所有患者表示在任何情况下都没有晕眩或眩光。

李红惠等^[16]对 XL-Stabi Z0 型非球面 IOL(ZO 组)与球面 IOL(ADAPT 组)进行对比,两组间患者术后的裸眼视力、BCVA 及球镜度数差异均无统计学意义($P > 0.05$)。黄静^[17]比较了四组植入不同非球面 IOL[分别为球差值 $-0.18 \mu\text{m}$ (HOYA60AD)、球差值 $-0.15 \sim -0.18 \mu\text{m}$ (STAAR KS-3AI)、零球差(Rayner920H 或 Rayner970C)、非恒定像差(Zeiss ZO)]的白内障患者术后 BCVA,组间差异无统计学意义。由此表明非恒定像差非球面 IOL 与其他非球面 IOL 及球面 IOL 均可提高术后视力,但效果无显著差异。

3.2 非恒定像差非球面 IOL 与对比敏感度 对比敏感度可以全面、准确地评估患者在每一个空间频率下的视觉质量^[18],尤其是低空间频率下的对比敏感度在反映视觉功能方面更加敏锐^[19]。大量研究证实非球面 IOL 在提高对比敏感度、改善视觉质量上有一定优势。Tzelikis 等^[20]研究发现,与球面 IOL ClariFlex 相比,植入非球面 IOL Tecnis Z9001 的患者在明视觉和中间视觉条件下,有更高的对比敏感度。黄静^[17]比较了四组植入不同非球面 IOL 和四种传统球面人工晶状体(Rayner570C, XLSTABI-SKY, Hexavision, HQ-201)患者的对比敏感度,也得到了相似的结论,认为明视无眩光及明视有眩光中、低空间频率和暗视无眩光高空间频率下,四种非球面 IOL 组对比敏感度值总体高于球面 IOL 组;四种非球面 IOL 在明视及暗视有眩光或无眩光的各空间频率下,非恒定像差和球差值为 $-0.15 \sim -0.18 \mu\text{m}$ 的非球面 IOL 组对比敏感度值高,其中非恒定球差非球面 IOL 组在明暗视中、低空间频率高,球差值 $-0.15 \sim -0.18 \mu\text{m}$ 非球面 IOL 组在明视中、高空间频率及暗视低空间频率高。这表明非恒定像差非球面 IOL 在提高对比敏感度方面有重要意义。

3.3 非恒定像差非球面 IOL 的像差保留优势 非恒定像差非球面 IOL 的中心部球差为 $-0.18 \mu\text{m}$,可以使得患者术后于晶状体中心部保留约 $0.1 \mu\text{m}$ 的球差值。但术后球差值的保留大小至今存在争议:Beiko^[21]研究发现,术后保留 $+0.1 \mu\text{m}$ 球差可明显提高明视及暗视下的对比敏感度。Morales 等^[22]得到了相似的结论,并认为保留较小的正球差可以提供较好的景深。但也有报道称用非球面 IOL 补偿角膜球差会使景深降低^[23]。Peirs 等^[24]和 Terwee 等^[25]认为,全眼球差为零时对比敏感度最佳。还有少数学者认为术后保留少量负球差,可获得更好的近视力^[26-27]。

3.4 倾斜和偏心对 IOL 成像质量的影响 诸多原因可以导致 IOL 发生倾斜和偏心,如 IOL 没有被完全植入到人眼囊袋内、囊袋直径与整个 IOL 直径不一致、囊袋撕裂等都

会致使 IOL 发生偏中心、偏位^[28]。Madrid 等^[29]认为非球面像差校正 IOL 在倾斜或偏心时对视觉质量的影响大于球面,但一定范围内的倾斜或偏心,不会导致成像质量下降,非球面 IOL 只有在倾斜小于 7°且偏心小于 0.4mm 时才能表现出它的优势,当偏心超过 0.5mm 时,非球面 IOL 与球面 IOL 的成像效果无显著差别。

当 IOL 发生偏中心、偏位时,球面 IOL 和非球面负球差 IOL 很可能会诱导高阶像差(尤其是彗差),此时非球面零球差 IOL 的视觉效果更加稳定。非恒定像差非球面 IOL 的中心部为负球差,周边部接近零球差,从而能够增强其对偏中心和偏位的抵抗性。

3.5 瞳孔直径对 IOL 成像质量的影响 非球面 IOL 的优势能否充分发挥主要取决于瞳孔直径的大小:瞳孔直径小于 2.5mm 时,波前像差对视觉质量的影响很小,但随着瞳孔直径的增加(如昏暗的环境或夜间,瞳孔直径达到 5mm 以上时)高阶像差也随之增大^[30],与明视高对比度相比,暗视低对比度条件下的视力受高阶像差的影响更大^[31]。总高阶像差、球差及二级散光,是影响视觉质量的主要因素^[32],因此大瞳孔下非球面 IOL 有明显优势。

3.6 IOL 的个性化选择 多位学者认为,人群中角膜球差的个体差异性较大^[33-34],依据角膜球差值个性化选择 IOL 成为白内障手术的趋势:曾国燕等^[35]对角膜球差 <0.15 μm 、角膜球差介于 0.15 ~ 0.35 μm 和角膜球差 >0.35 μm 的白内障患者分别植入(XL-StabiZO IOL)、(AcrySof IQ IOL)和(Tecnis ZA9003 IOL),对照组随机植入以上三种非球面 IOL,术后测量全眼角膜球差、总高阶像差、调制传递函数值及斯泰尔比值发现:小瞳孔直径下(3mm),植入不同球差设计的非球面 IOL 患者术后视觉质量无明显差异;大瞳孔直径下(5mm),与随机植入非球面 IOL 相比,根据术前角膜球差大小个性化地选择 IOL 可使术后总球差相对波动于预期值,从而获得较好的视觉质量。Jia 等^[36]也做过类似试验,试验组根据患者角膜球差大小植入非球面人工晶状体,对照组随机植入非球面人工晶状体,术后 3mo 试验组在 6、12、18c/d 空间频率暗光下对比敏感度均高于对照组,尤其是 18c/d 空间频率。认为根据角膜球差个性化植入非球面人工晶状体可以显著改善暗视高空间频率的对比敏感度。Schrecker 等^[37]也得到了相似的结论,认为个性化设计的像差校正型非球面人工晶状体可有效地改善术后视功能,尤其是对比敏感度。王静等^[38]也认为根据患者角膜球差值为患者个性化地保留小度数的正球差对视觉质量有明显影响,但如何为术后保留球差值进行合理量化至今存在争议。

4 小结及展望

非恒定像差非球面 IOL 是目前临床上备受关注的一种新型 IOL,目前国内外的临床研究较少,作为一项新技术,其临床应用尚处于初期,IOL 术后视觉质量尚待进一步研究和观察。我们期待非恒定像差非球面 IOL 具有广阔的发展前景,将会为白内障手术带来新的技术革新并为患者带来更好的视觉质量。

参考文献

1 Calladine D, Evans JR, Shah S, et al. Multifocal versus monofocal intraocular lenses after cataract extraction. *Cochrane Db Syst Rev* 2016;12(9):CD003169
2 王春红,曹茜,杨丽萍.年龄相关性白内障人群角膜球面像差的分布

及影响因素.国际眼科杂志 2015;15(3):531-533
3 朱珂珂,穆红梅.开封地区年龄相关性白内障患者角膜球面像差分析.国际眼科杂志 2016;16(11):2133-2135
4 赵晓彬,李科军,樊芳,等.单纯老年性白内障人群角膜球面像差.中国老年学杂志 2016;36(6):1444-1446
5 Wei YH, Chen WL, Su PY, et al. The influence of corneal wound size on surgically induced corneal astigmatism after phacoemulsification. *J Formos Med Assoc* 2012;111(5):284-289
6 Schuster AK, Tesarz J, Vossmerbaeumer U. The impact on vision of aspheric to spherical monofocal intraocular lenses in cataract surgery; a systematic review with meta-analysis. *Ophthalmology* 2013;120(11):2166-2175
7 Yagci R, Uzun F, Acer S, et al. Comparison of visual quality between aspheric and spherical IOLs. *Eur J Ophthalmol* 2014;24(5):688-692
8 毛春春.人工晶状体植入术治疗白内障对视觉质量的影响.临床医药文献杂志 2016;3(2):206-207
9 侯晓依.非球面人工晶状体的研究进展.医学综述 2014;20(19):3554-3556
10 Sandoval HP, Fernandez LE, Vroman DT, et al. Comparison of visual outcomes, photopic contrast sensitivity, wavefront analysis, and patient satisfaction following cataract extraction and IOL implantation; aspheric vs spherical acrylic lenses. *Eye* 2008;22(12):1469-1475
11 刘祥龙,贾秋菊,卢国强.零球差与负球差的非球面人工晶状体植入术后视觉质量临床研究.北华大学学报(自然科学版)2016;17(1):92-94
12 朱海丰,方志良,刘永基.人工晶状体倾斜与偏心对人眼视功能的影响.光子学报 2008;37(1):140-144
13 Stepanov A, Jirásková N, Rozsival P. Evaluation of the clinical results of implantation the hydrophobic intraocular lens CT Lucia 601P. *Čes a Slov Ofal* 2015;71(4):196-198
14 Borkenstein AF, Borkenstein EM. Long-term clinical results and scanning electron microscopic analysis of the aspheric, hydrophobic, acrylic intraocular lens CT LUCIA 611P(Y). *Clin Ophthalmol* 2018;12:1219-1227
15 Borkenstein AF, Borkenstein EM. Patient and Surgeon Satisfaction Levels after Using an Acrylic, Hydrophobic, Monofocal IOL and the Malyugin Ring in Pseudoexfoliation Syndrome Patients. *J Ophthalmol* 2018;2018:3843098
16 李红惠,赵娟,王俐泓.非恒定像差非球面人工晶状体植入术后近期视觉质量评价.中华实验眼科杂志 2013;31(4):365-371
17 黄静.非球面晶状体与球面晶状体植入术后视觉质量的对比研究.汕头大学 2010
18 Owsley C, Stalvey BT, Wells J, et al. Visual risk factors for crash involvement in older drivers with cataract. *Arch Ophthalmol* 2001;119(6):881-887
19 Mester U, Dillinger P, Anterist N. Impact of a modified optic design on visual function: clinical comparative study. *J Cataract Refract Surg* 2003;29(4):652-660
20 Tzelikis PF, Akaishi L, Trindade FC, et al. Spherical aberration and contrast sensitivity in eyes implanted with aspheric and spherical intraocular lenses; a comparative study. *Am J Ophthalmol* 2008;145(5):827-833
21 Beiko GH. Personalized correction of spherical aberration in cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2007;33(8):1455-1460
22 Morales EL, Rocha KM, Chalita MR, et al. Comparison of optical aberrations and contrast sensitivity between aspheric and spherical intraocular lenses. *J Refract Surg* 2011;27(10):723-728
23 Steinwender G, Strini S, Glatz W, et al. Depth of focus after implantation of spherical or aspheric intraocular lenses in hyperopic and

- emmetropic patients. *J Cataract Refract Surg* 2017; 43(11): 1413-1419
- 24 Piers PA, Manzanera S, Prieto PM, *et al.* Use of adaptive optics to determine the optimal ocular spherical aberration. *J Cataract Refract Surg* 2007; 33(10):1721-1726
- 25 Terwee T, Weeber H, Mooren MV, *et al.* Visualization of the retinal image in an eye model with spherical and aspheric, diffractive, and refractive multifocal intraocular lenses. *J Refract Surg* 2008; 24(3): 223-232
- 26 Gong XH, Zheng QX, Wang N, *et al.* Visual and optical performance of eyes with different corneal spherical aberration implanted with aspheric intraocular lens. *J Ophthalmol* 2012; 5(3):323-328
- 27 Nanavaty MA, Spalton DJ, Marshall J. Effect of intraocular lens asphericity on vertical coma aberration. *J Cataract Refr Surg* 2010; 36(2):215-221
- 28 Walkow T, Anders N, Pham DT, *et al.* Causes of severe decentration and subluxation of intraocular lenses. *Graefes Arch Clin Exp* 1998; 236(1):9-12
- 29 Madrid CD, Ruiz AJ, Perez VC, *et al.* Visual simulation through different intraocular lenses using adaptive optics; effect of tilt and decentration. *J Cataract Refract Surg* 2012;38(6):947-958
- 30 Zhang Z, Wang J, Niu W, *et al.* Corneal asphericity and its related factors in 1052 Chinese subjects. *Optometry Vis Sci* 2011; 88(10): 1232-1239
- 31 Lopez GN, Bradley A. The potential for and challenges of spherical and chromatic aberration correction with new IOL designs. *Br J Ophthalmol* 2013;97(6):677-678
- 32 唐建, 龚力力. 白内障超声乳化人工晶状体植入术后眼高阶像差与视觉质量相关性分析. *中国实用眼科杂志* 2013; (10):1324-1327
- 33 Zhao H, Dai GM, Chen L, *et al.* Spherical aberration of human astigmatic corneas. *J Refract Surg* 2011;27(11): 846-848
- 34 Shimozone M, Uemura A, Hiram Y, *et al.* Corneal spherical aberration of eyes with cataract in a Japanese population. *J Refract Surg* 2010; 26(6):457-459
- 35 曾国燕, 张远平, 赵学英, 等. 不同球差非球面人工晶状体植入术后的视觉质量分析. *眼科新进展* 2016;36(11):1042-1046
- 36 Jia LX, Li ZH. Clinical study of customized aspherical intraocular lens implants. *Int J Ophthalmol* 2014; 7(5):816-821
- 37 Schrecker J, Langenbacher A, Seitz B, *et al.* First results with a new intraocular lens design for the individual correction of spherical aberration. *J Cataract Refr Surg* 2018; 44(10):1211-1219
- 38 王静, 张劲松, 赵江月. 角膜球面像差引导下个体化 IOL 植入术后视觉质量. *中华眼视光学与视觉科学杂志* 2012; (10):617-621