

重视白内障患者视觉质量的评估

兰长骏 廖莹

637000 四川南充, 川北医学院附属医院眼科 川北医学院眼视光学系

通信作者: 兰长骏, Email: lanchangjun@sina.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2018.05.002

【摘要】 随着白内障检查手段的更新、人工晶状体(IOL)设计和工艺的改进以及手术设备和技巧的完善,白内障手术逐渐从复明性手术发展为屈光性手术,视觉质量的评估与优化日益受到关注。临床上,除了视力的范畴延伸至全程、连续、不同照度和对比度下视力外,对比敏感度函数(CSF)、调制传递函数(MTF)、点扩散函数(PSF)、波前像差和散射指数等各项指标也被使用,以期对白内障患者手术前后的视觉质量作出全面评估,指导手术时机的选择和功能性 IOL 的应用。临床医师在白内障的诊疗过程中应重视视觉质量的评价方法,正确解读评价指标及其临床意义,为个性化手术的设计和视觉质量的改善提供依据。

【关键词】 白内障/手术; 人工晶状体; 视觉质量; 个性化

Focus on the evaluation of visual quality in cataract patients Lan Changjun, Liao Xuan

Department of Ophthalmology, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Department of Ophthalmology & Optometry, North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, China

Corresponding author: Lan Changjun, Email: lanchangjun@sina.com

【Abstract】 With the improvement of cataract examination methods, intraocular lens (IOL) design and process, surgical equipments and techniques, cataract surgery was gradually developed from vision rehabilitation to refractive surgery. Therefore, the assessment of visual quality is getting more attention. Clinically, in addition to the extension of concept of visual acuity, contrast sensitivity function (CSF), modulation transfer function (MTF), point spread function (PSF), wavefront aberration and scattering index are also used, with a view to making a comprehensive assessment of visual quality of cataract patients preoperatively and postoperatively. Ophthalmologists should pay attention to the methods and results of evaluation on the visual quality, to provide support for the design of personalized surgery and the improvement of visual quality.

【Key words】 Cataract/surgery; Intraocular lens; Visual quality; Personalization

白内障是世界范围内的主要致盲眼病。全世界估计有白内障患者9 500万^[1],我国现有白内障患者1 100万^[2]。手术仍然是目前最常用和最具成本效益的白内障治疗方式。到2020年,预计世界范围内每年将有超过3 000万人接受白内障手术^[1]。随着白内障手术设备和技术的不断完善、人工晶状体(intraocular lens, IOL)设计和材料的不断更新,白内障手术逐渐由单纯复明性手术发展为屈光性手术,不仅满足于术后视力的提高,更关注视觉质量的优化。视觉质量是高于视力层面的概念,涵盖清晰度、舒适度、持续性、稳定性等方面的视觉感知,与生活质量息息相关。临床医师在白内障的诊疗过程中应该重视视觉质量的评价方法,正确解读评价指标的临床意义,为个性化手术的设计和视觉质量的改善提供依据。

1 视觉质量评价指标

1.1 视力

视力是分辨高对比度小目标的能力,主要反映黄斑中心凹的功能,取决于眼球光学系统对视觉图像的

分辨程度和大脑视皮层对视觉图像的解析能力。视力检测简单快捷,是临床上常用的检查方法。但是部分白内障患者视力下降并不明显,或术后视力恢复良好,却仍抱怨强光下视物模糊、夜间驾车困难、阅读易于疲劳、光晕以及眩光等现象;而且现实生活场景中不同的光照度、对比度及色彩等影响因素并未完全反映到视力检测结果中。因此,视力检测在评价人眼光学系统的成像质量上有其局限性^[3]。随着人们物质文化生活水平的提高,对于视觉质量的要求也在不断提升,视力检测的范畴延伸至全程、连续、不同照度和对比度下视力,以更好地评价与日常生活状态相关的远中近距离视力、明暗光照度下视力,以及动态视力变化过程。

1.2 对比敏感度函数

视力检测结果仅反映黄斑中心凹对高对比度小目标的分辨能力,不能反映视网膜对低对比度物体的识别能力。对比敏感度(contrast sensitivity, CS)是视觉系统恰能识别出的某一空间频率对比度阈值的倒数,测定人眼对不同空间频率的图形分辨能力。CS检查结合视角和对比度,既能反映视觉系统对不同大小形状物体的

分辨能力,又能反映对不同对比度图形的分辨能力,比视力检查更真实和敏感地反映视功能情况。将不同空间频率的 CS 值连接起来就构成对比敏感度函数 (contrast sensitivity function, CSF) 曲线,低频区主要反映视觉对比度情况,高频区主要反映视敏度,中频区主要反映视觉对比度和中心视力综合情况。而通常的视力表视力实际上是在高对比度下所测得的 CSF 上的一点,在视觉生理和病理上所给出的信息不如 CSF 多^[4]。

1.3 波前像差参数

波前像差是物体经光学系统成像的实际波阵面与理想波阵面之间的光程差,通常以 7 阶 35 项的 Zernike 多项式定量和分解表达,其中 1~2 阶为低阶像差,包括离焦和散光;3 阶及以上为高阶像差,包括球差、彗差和三叶草像差等。目前临床上使用的客观波前像差仪包括以 Shack-Hartmann 波前感受器理论为基础的出射型像差仪、以 Tscherning 理论为基础的视网膜型像差仪和以 Sminov-Scheiner 理论为基础的入射可调式屈光计。波前像差对人眼视觉质量的影响并非各阶或各项像差单独作用的结果,像差之间的不同组合可能提升或降低视觉质量,色差引起的色相位移以及与单色像差之间也存在一定影响^[5]。波前像差的测量需在透明介质的前提下,因此在白内障术前或术后屈光介质混浊的情况下,基于像差的评价方法有所受限。

1.4 散射光参数

部分光线通过眼部不均匀的屈光介质和不等光学折射率的结构时,会偏离原传播方向,这部分光线称为眼内散射光,分为朝向视网膜方向的前散射和朝向角膜方向的后散射。散射光在眼内形成较强的光幕,并叠加于视网膜的图像上,降低了视网膜图像的对比度和清晰度,导致晕轮、星芒、眩光、夜视不良等多种症状^[6]。与视力和 CS 相比,散射光可以更大程度地反映视网膜敏感性。眩光 CS 测试系统进行 CS 和眩光敏感度 (glare sensitivity, GS) 测试,检测散射光在眼内光散射所引起 CSF 下降的效应。随着散射光对视觉功能的重要性逐渐被认识,测量眼内散射光的方法逐渐增多,如基于双通道原理的 OQAS,产生客观散射指数 (objective scatter index, OSI); 以及采用光线补偿原理的 C-Quant,可获取眼内散射光对数值 $\log(s)$ 。

1.5 调制解调函数

调制传递函数 (modulation transfer function, MTF) 描述不同空间频率下物像对比度与光学系统成像质量的关系,反映光学系统对不同空间频率的响应能力。MTF 值可以与 CSF 相对应,也与像差及衍射效应密切相关,能够客观定量地反映眼球光学系统的成像质量。

MTF 值越大,成像质量越好。将不同空间频率的正弦光栅作为横坐标,将 MTF 值作为纵坐标,即得到 MTF 曲线,其低频区反映物体轮廓传递情况,中频区反映物体层次传递情况,而高频区反映物体细节传递情况。一般而言,MTF 阈值范围是 0~1,随着空间频率增大而逐渐降低,并在高空间频率条件下逐渐下降到 0。如果将对应 MTF 阈值 0.01 的空间频率值作为 MTF 截止频率 (MTF cut off),即达到该空间频率值时,MTF 值趋向于零,到达人眼分辨率的极限,可以间接反映人眼视网膜成像的客观视力。早期白内障患眼的 MTF cut off 亦较健康人眼明显降低,表明其视觉质量有所下降。

1.6 点扩散函数

点扩散函数 (point spread function, PSF) 是指点光源经光学系统后所形成的光强度分布函数,反映光点投射到视网膜上后发生的光强度和位置的偏差。PSF 体现像差、衍射和散射对视网膜成像质量的共同影响,但是在量化描述方面存在一定的局限性。一般情况下,形成的光斑面积越小,代表点光源经过人眼光学系统后弥散越小;光斑的光强度越大,说明光能量损失越少,则视网膜成像质量越好。PSF 和 MTF 都是视网膜平面光学成像的客观评价指标,PSF 借助几何光学对点状或线状形状进行描述,MTF 则是利用不同空间频率和不同方向变化进行描述。现代光学应用傅里叶转换将 PSF 和 MTF 等有机地结合起来,通过对人眼 PSF 测量可以定量地获得 MTF 数据。PSF 与视觉质量的关系也用斯特列尔比 (Strehl ratio, SR) 进行描述,SR 是指有像差与无像差光学系统的 PSF 中心峰值强度的比值,与视觉质量呈反比。

人眼成像过程包括光学系统的物理成像过程和视觉神经系统的信息传递处理过程。传统的视力表视力和 CS 函数作为心理物理学指标,检测的是全视觉系统视觉质量,检查结果不仅受光学系统和神经系统的影响,还依赖于患者的认知能力和配合程度。波前像差仅反映了人眼光学系统的一种特性,相等的像差值也会产生不等的视觉效果。此外,当瞳孔直径逐渐变小时,衍射的作用就会逐渐增强,而随着屈光介质透明度的下降和表面不规则性的增加,散射的影响也会变得明显,综合考虑这些因素才能对视觉质量作出准确评价。由于检查设备和时间的不同涉及测量数据的对齐和计算,近年来已有相关多参数测量仪器应用于临床,如双通道视觉质量分析系统 OQAS 综合 PSF、OSI、MTF cut off、SR 和模拟对比度视力等参数的测量,以期对视觉质量作出全面的评估^[7]。

2 白内障患者的视觉质量评价及应用

2.1 手术时机的选择

既往多将视力表视力及晶状体混浊情况作为决定手术时机的指标,同时遵循患眼晶状体混浊的程度与矫正视力相一致的原则。但是临床上常常遇到一些患者,虽然检查视力正常或稍有下降,却感觉严重困扰生活和工作,仅用视力评估显然不足;而白内障不同分类及分期下,晶状体混浊的范围和形状等表现不一,为衡量晶状体混浊程度带来了困难。尽管一些专业评价体系有助于判断标准的确立,如 LOCS 晶状体混浊分类系统及 Wisconsin 白内障分级系统^[8-9],然而这些采用裂隙灯显微镜及晶状体后照明的方法观察的是后散射,与影响患者真正视觉感受的前散射之间差异可能较大,并且检查和评价依赖医生的经验存在主观误差,需要更为准确和客观的定量评价指标^[10]。

眼内散射是造成白内障早期患者实际生活中视功能低下不可忽视的原因。散射光检测可为早期白内障患者的主观症状提供客观检查依据,有助于判断视觉损害的程度。眼球在光学上并非完美,当光线通过透明晶状体时会造成大约 40% 的眼内散射,通过混浊的晶状体时会发生更大的散射^[11]。更多的散射光干扰引起视功能下降和眩光失能。CS 和 GS 可以在视力变化之前反映白内障对视觉质量的影响,但二者同属心理物理学检查,重复性和可靠性较差。OQAS 通过视网膜图像外周与中心的光能量之比,即 OSI 值来衡量眼内散射情况,对白内障严重程度的判断更简便、客观,而且检测的前散射与视网膜成像直接相关,对于临床的指导意义更大。研究认为,正常眼 OSI 值一般低于 2,进展期白内障 OSI 为 2~4,成熟期白内障 OSI 大于 4,当 OSI ≥ 3 时可以考虑施行白内障超声乳化术^[12]。

2.2 非球面 IOL

球差是人眼中存在的主要的高阶像差,主要来源于角膜和晶状体。角膜球差为正值,年轻人的晶状体球差为负值,二者相抵使眼的总球差处于较低的水平,视网膜的成像质量佳;随着年龄的增长,晶状体的负球差逐渐减小或变为正值,而角膜的球差变化较小,因此晶状体的补偿作用减弱而眼的总球差增高,导致视觉质量下降。理论上,传统球面 IOL 球差为正,植入后增加全眼球差,从而影响 IOL 眼的成像质量;非球面 IOL 即消除球面像差的 IOL,通过表面修饰后球差为负或零,全部或部分抵消角膜的正球差,减小全眼球差,术后视觉质量得以改善^[13]。尽管与球面 IOL 相比,植入非球面 IOL 术后裸眼视力和最佳矫正视力并不能显示其优势,但非

球面 IOL 的 CS,特别是暗视下 CS,较球面 IOL 为优;全眼总高阶像差和球差均明显降低,其他像差成分的差异报道不一;非球面 IOL 的 MTF 值较球面 IOL 更大^[14-15]。

非球面 IOL 的设计基于 6 mm 瞳孔直径下角膜的平均球差约为 +0.27 μm ,但人群中角膜球差值分布于一定的范围,可能较 +0.27 μm 更高或者更低,甚至为负值^[16]。因此,在为患者选择非球面 IOL 时,可以参考术前测量的 6 mm 瞳孔直径下的角膜球差值。关于植入非球面 IOL 术后角膜球差全矫还是预留少量正球差的问题目前尚有争议,有研究显示全部矫正角膜正球差能提高 IOL 眼的 CS,改善视觉质量,也有研究发现保留少量正球差可以减少其他像差的作用,增加 IOL 眼的焦深,改善中距离视力。IOL 眼的球差与瞳孔直径呈正相关,4 mm 瞳孔直径下非球面 IOL 的优势大大减弱。如果患者夜间瞳孔直径小于 4 mm,选择非球面 IOL 的意义不大,不仅增加了患者的经济负担,亦达不到理想的术后效果。年轻人瞳孔的扩张更加敏感,有夜间驾驶需求的人群对暗环境视觉质量的要求更高,适合植入非球面 IOL^[15]。但非球面 IOL 偏心和倾斜的耐受程度低于球面 IOL,需要综合各方面因素做出合理的选择。

2.3 多焦点 IOL

单焦点 IOL 虽然能很好地提高远视力,但近视力较差。多焦点 IOL 利用折射和/或衍射的原理使光线分配至不同的焦点,在提高远距离视力的同时也能极大地改善近距离和中距离视力。衍射型多焦点 IOL 借助紧密排列的细小同心环状凹槽所产生的衍射效应形成多焦点,主要存在光能和锐度丢失的问题,中距离视力相对有限;折射型多焦点 IOL 利用同心圆环带状折射区形成不同焦点,但其依赖瞳孔大小的缺点显著,对 IOL 的位置要求高;衍射折射混合型多焦点 IOL,联合应用阶梯渐进技术的中央区和周边的折射区,目的是在明暗光线下均能获得较好的远近视功能。

研究显示,植入非球面单焦点或多焦点 IOL 后,裸眼视力及最佳矫正远视力均无明显差异,多焦点 IOL 裸眼近视力明显优于单焦点 IOL,阅读脱镜率提高;2 种 IOL 之间总球差、高阶像差、球差和慧差差异均无统计学意义,但多焦点 IOL 术后眩光或无眩光下 CS 显著降低^[17];OSI 高于单焦点 IOL^[18]。多焦点 IOL 焦深的增加是以光能丢失为代价的,因此更容易出现不良视觉症状。近年来出现的区域折射型 IOL 的扇形视近及视远区均达到了晶状体光学区中央,改善了对瞳孔大小的依赖^[19];尽管严格意义上景深扩展型(extend depth of focus, EDOF) IOL 并不属于多焦点 IOL,但其采用衍射光栅设计及消色差技术,获得更大的焦深和

更少的光能分散^[20]。随着多焦点 IOL 设计和手术的不断改进,术后异常视觉症状的出现率明显降低。但是不同类型多焦点 IOL 的光学特性各异,不同患者的视觉偏好亦有差别,需要更加全面地评估患者的需求,严格把握植入的适应证。

2.4 散光矫正型 IOL

散光是影响白内障患者术后视力恢复和视觉质量提高的主要因素之一,主要来源于角膜和晶状体散光。临床上白内障合并角膜散光较为常见。中国约 27.5% 的白内障患者术前存在 1.25 D 以上的角膜散光,其中 58.2% 为顺规散光^[21]。随着散光度数的增加,Sturm 圆锥中的光能下降,减少了进入眼内的有效光能,CS 空间频率降低,由高频向中低频方向转移,同时也受到散光轴向的影响;眼球低阶像差增加,伴随慧差相应增大;同时出现眼内散射,视网膜处理图像的分辨能力减弱,物像对比度大幅度下降^[22]。散光矫正型 IOL 在晶状体水平中和角膜散光,为合并角膜规则散光的白内障患者获得良好视觉效果提供了机会,并且已经临床应用证明其安全性、有效性和可预测性。

散光矫正型 IOL 目前面临的问题主要在于术前角膜散光的精准测量和定位,以及手术源性散光和 IOL 囊袋内稳定性等影响。角膜散光测量强调良好的重复性,角膜曲率计、角膜地形图和光学生物测量仪等不同仪器的测量结果可以相互印证;强调包括角膜前表面和后表面在内的全角膜曲率的测量。新的手术导航系统可以更加精确定位。散光是低阶像差中很重要的成分,而在像差中低阶像差占了 90%,如果能够精确解决合并角膜规则散光的白内障患者的散光,则大部分的像差得以矫正,术后视觉质量将明显提高。

3 小结

白内障患者的晶状体发生了变化,术后 IOL 眼形成了新的屈光系统,因此患者的视觉质量需要重新考量。目前功能性 IOL 已经得到广泛应用,可联合非球面、多焦点、复曲面等设计以及不同的材料,而患者对于功能性 IOL 术后效果的期望值更高,因此更应当重视提高视觉质量的每个细节,熟悉各类 IOL 的光学特性、充分评估术前眼部状态、了解患者的视觉偏好、提高手术操作技巧。只有在综合各方面因素的情况下,做出合理的个性化选择方案,才能使患者获得最佳的视觉质量和生活质量。同时也应重视患者术后的视觉质量评估,为 IOL 的设计和改善提供参考。

参考文献

[1] Liu YC, Wilkins M, Kim T, et al. Cataracts [J]. Lancet, 2017,

- 390(10094): 600-612. DOI:10.1016/S0140-6736(17)30544-5.
- [2] 姚克. 我国白内障研究发展方向及面临的问题[J]. 中华眼科杂志, 2015, 51(4): 241-244. DOI:10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2015.04.001. Yao K. Cataract in China: research and development direction and problems encountered[J]. Chin J Ophthalmol, 2015, 51(4): 241-244. DOI:10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2015.04.001.
- [3] van den Berg TJTP. The (lack of) relation between straylight and visual acuity. Two domains of the point-spread-function [J]. Ophthalmic Physiol Opt, 2017, 37(3): 333-341. DOI:10.1111/opo.12368.
- [4] Alcalde NG, Castillo LR, Filgueira CP, et al. repeatability evaluation of a contrast sensitivity system for transfer to the eye clinic [J/OL]. J Phys: Conf Ser, 2016, 705: 012052 [2017-12-10]. https://doi.org/10.1088/1742-6596/705/1/012052. DOI: 10.1088/1742-6596/705/1/012052.
- [5] Song H, Yuan X, Tang X. Effects of intraocular lenses with different diopters on chromatic aberrations in human eye models [J/OL]. BMC Ophthalmol, 2016, 16: 9 [2017-12-13]. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26754111. DOI:10.1186/s12886-016-0184-6.
- [6] Piñero DP, Ortiz D, Alio JL. Ocular scattering [J/OL]. Optom Vis Sci, 2010, 87(9): E682-696 [2017-12-16]. https://insights.ovid.com/pubmed? pmid=20601914. DOI:10.1097/OPX.0b013e3181e87da6.
- [7] Xu CC, Xue T, Wang QM, et al. Repeatability and reproducibility of a double-pass optical quality analysis device [J/OL]. PLoS One, 2015, 10(2): e0117587 [2017-11-28]. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4315520/. DOI: 10.1371/journal.pone.0117587.
- [8] Chylack LT, Wolfe JK, Singer DM, et al. The Longitudinal Study of Cataract Study Group. The Lens Opacities Classification System III [J]. Arch Ophthalmol, 1993, 111(6): 831-836.
- [9] Klein BE, Klein R, Linton KL, et al. Assessment of cataracts from photographs in the Beaver Dam Eye Study [J]. Ophthalmology, 1990, 97(11): 1428-1433.
- [10] Paz FC, Sánchez RF, Issolio LA, et al. Straylight and visual quality on early nuclear and posterior subcapsular cataracts [J]. Curr Eye Res, 2016, 41(9): 1209-1215. DOI: 10.3109/02713683.2015.1101139.
- [11] Yuan R, Yager D, Guethlein M, et al. Controlling unwanted sources of threshold change in disability glare studies: a prototype apparatus and procedure [J]. Optom Vis Sci, 1993, 70(11): 976-981.
- [12] Pan AP, Wang QM, Huang F, et al. Correlation among lens opacities classification system III grading, visual function index-14, pentacam nucleus staging, and objective scatter index for cataract assessment [J]. Am J Ophthalmol, 2015, 159(2): 241-247. DOI: 10.1016/j.ajo.2014.10.025.
- [13] Chang DH, Rocha KM. Intraocular lens optics and aberrations [J]. Curr Opin Ophthalmol, 2016, 27(4): 298-303. DOI: 10.1097/ICU.0000000000000279.
- [14] Schuster AK, Tesarz J, Vossmerbaeumer U. Ocular wavefront analysis of aspheric compared with spherical monofocal intraocular lenses in cataract surgery: systematic review with metaanalysis [J]. J Cataract Refract Surg, 2015, 41(5): 1088-1097. DOI: 10.1016/j.jcrs.2015.04.005.
- [15] Tandogan T, Auffarth GU, Choi CY, et al. In vitro comparative optical bench analysis of a spherical and aspheric optical design of the same IOL model [J/OL]. BMC Ophthalmol, 2017, 17(1): 9 [2017-12-13]. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5299728/. DOI: 10.1186/s12886-017-0407-5.
- [16] Levy Y, Segal O, Avni I, et al. Ocular higher-order aberrations in eyes with supernormal vision [J]. Am J Ophthalmol, 2005, 139(2): 225-228. DOI:10.1016/j.ajo.2004.08.035.
- [17] de Silva SR, Evans JR, Kirithi V, et al. Multifocal versus monofocal intraocular lenses after cataract extraction [CD/OL]. Cochrane Database Syst Rev, 2016, 12: CD003169 [2017-10-23]. http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/14651858.CD003169.pub4/epdf/standard. DOI:10.1002/14651858.CD003169.pub4.
- [18] Liao X, Lin J, Tian J, et al. Evaluation of optical quality: ocular scattering and aberrations in eyes implanted with diffractive multifocal or monofocal intraocular lenses [J/OL]. Curr Eye Res, 2018: 1-6 [2018-04-15]. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29630420. DOI: 10.1080/02713683.2018.1449220.
- [19] Moore JE, McNeely RN, Pazo EE, et al. Rotationally asymmetric multifocal intraocular lenses: preoperative considerations and postoperative outcomes [J]. Curr Opin Ophthalmol, 2017, 28(1): 9-15. DOI:10.1097/ICU.0000000000000339.
- [20] Rocha KM. Extended depth of focus IOLs: the next chapter in refractive technology? [J]. J Refract Surg, 2017, 33(3): 146-149. DOI: 10.3928/1081597X-20170217-01.
- [21] Chen W, Zuo C, Chen C, et al. Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery in Chinese patients [J]. J Cataract Refract Surg, 2013, 39(2): 188-192. DOI:10.1016/j.jcrs.2012.08.060.
- [22] Visser N, Bauer NJ, Nuijts RM. Toric intraocular lenses: historical overview, patient selection, IOL calculation, surgical techniques, clinical outcomes, and complications [J]. J Cataract Refract Surg, 2013, 39(4): 624-637. DOI:10.1016/j.jcrs.2013.02.020.

(收稿日期:2018-01-06 修回日期:2018-04-16)

(本文编辑:刘艳)