

· 专题笔谈 ·

波前像差在白内障方面的应用

孙琦 张劲松

波前像差最早用于 LASIK 屈光手术中, 近几年随着白内障手术日益完善和患者对生活质量要求增高, 白内障手术亦被归为一种屈光手术, 而波前像差在白内障眼和人工晶体眼的光学方面发挥了重要作用, 在白内障方面的应用受到越来越多的关注。

目前测量人眼像差的方法主要包括激光光路追逐法、Hartmann-Shack 波前传感器检测法及空间分辨率折射线检测法。波前像差仪检测的数据可分为低阶像差和高阶像差, 而高阶像差则需采用数学中的 Zernike 多项式描述, 其中均方根用来定量描述高阶像差。

一、解释白内障患者的视觉症状

1. 早期白内障的视觉症状 早期的白内障患者(无其他眼病)主观感觉和客观测得的视力不匹配, 从像差角度解释是, 混浊部位导致局部屈光指数增大^[1], 而主观上对比敏感度的下降和客观上测出的像差相关^[5,20], 像差增大, 对比敏感度下降, 视网膜成像质量下降。

早期白内障患者能测出波前像差并且容易用像差的特点解释其混浊的特点^[6]。具体的说^[5], 早期皮质性白内障患者存在不对称的混浊, 反映在角差是彗差(具有不对称性)比球差增大更明显; 早期核性白内障患者存在的中心性对称的混浊, 反映在像差是上球差(对称性)比彗差增大得更明显; 并且皮质和核性白内障的四叶草像差都增大, 解释了早期白内障患者主观视力较差。

还有人更生动直接的解释了白内障患者所见的三重视。Fujikado 等^[2]认为, 波前像差分析可有效地鉴定晶体源性的三重视。他们用 Hartmann-Shack 像差仪测出一主诉三重视的轻度核性白内障患者的球差和三叶草像差增大, 并利用 Zernike 多项式模拟其视网膜图象, 可看也 Landolt C 字母有三重影, 术后患者症状消失, 测得像差减少, 原来视网膜图象重影消失。

二、术前客观、量化地预测白内障眼的视力减退

Fujikado 等人^[20]的研究一方面解释了核性和皮质性白内障的视力下降原因, 另一方面, 也用高阶像差预测了白内障眼的视力减退。用 Hartmann-Shack 像差分析仪 (Topcon KR-9000PW) 测得前散射和高阶像差, 用眼前节照相系统测得的后散射(平均晶体密度), 收集了 41 只轻度皮质白内障眼, 22 只轻度核性白内障眼和 11 只正常人眼, 并且线性回归分析了三个客观量化指标与对比敏感度函数的关系。结果是核性白内障的对比敏感度下降主要是高阶像差和后散射的原因, 而皮质白内障主要是高阶像差和前散射的原因; 角散射和高阶像差预测的对比预测的对比敏感度与实际测得的敏感度相关度很高 (3c/d 时 $r=0.422$; 6c/d 时 $r=0.664$; 12c/d 时 $r=0.667$; and 18c/d 时 $r=0.641$)。

三、白内障人工晶体植入术后的视觉质量评估

视力是主要评估白内障术后效果的方法, 但是有些术后患者视力较好, 而主观感觉较差, 如夜视力差、眩光、光晕、视物变色等。利用波前像差可进一步量化评估患者的视觉质量状态。Kuroda 等^[9]则认为白内障摘除手术后人眼的高阶像差明显增大, 其中球面像差变化最为明显, 这可能是导致白内障摘除术后术眼出现夜视力差、眩光等视觉症状的主要原因之一。Oshika 等^[4]报道了一名左眼人工晶体植入术后视物不清和扭曲的病人, 发现该患人工晶体有较大的倾斜, 并测得彗差明显增大。Taketani 等人^[7]也分析了 40 只可折叠丙烯酸酯人工晶体眼, 发现倾斜与彗差相关联, 减小倾斜可提高视网膜成像质量。

四、人工晶体眼的评价与选择

1. 非球差型人工晶体与传统球面人工晶体: 植入传统球面的人工晶体病人的对比敏感度并没有比正常同龄的明显提高^[11], Miller 等人^[12]研究得出, 在瞳孔大于 5mm 时, 人工晶体眼比正常人眼的球差和总的像差明显增大, 就是说, 传统球面人工晶体存在正球差, 影响术后对比敏感度的进一步提高。Holladay^[13]提出了改良扁平人工晶体的设计概念, 借

修饰晶体前表面来抵消角膜正球差和提高对比敏感度。而 Tecnis Z9000 晶状体是第一个批准的将波前像差理论用于晶体设计并可矫正角膜正球差的人工晶状体。它将 Z-sharp 技术与 911 型人工晶状体相结合。具体的说, 角膜呈正性球面像差, 即周边的光线聚焦于视网膜前, 晶状体具有负性球面像差, 可以矫正角膜的正性球面像差。但是随着年龄的增加, 晶状体的球面像差由负性向正性漂移^[8], 这种变化不但不能矫正角膜的正性球面像差, 反而使其有所增加。结果引起对比敏感度下降, 眩目现象增加。Z-sharp 技术改变了人工晶状体相比, 该晶状体的前表面中心较陡而周边部较平坦, 这种设计使得晶状体周边的屈光力较中间小, 其本身产生的负球差可起到抵消角膜正球差的作用^[14], 接近年轻人眼光学系统。继 Tecnis 问世后, Alcon 公司研发了 ArcysofSN60WF 非球面人工晶体, B&L 公司研发了 ArcysofSN60WF 非球面人工晶体, B&L 公司研发了 SofPort Advanced Optics 非球面人工晶状体(前表面和后表面均为非球面)等等。

多项研究证实这种晶状体确实能够提高人工晶状体的成像质量。Federico 等人^[15]首次用 CeeOn A911 来比较 Z9000 的光学质量(患者一眼植入 CeeON A911, 另一眼植入 Z900)。因 CeeON A911 和 Z900 唯一不同的就是 Z900 的前表面经过修饰, 所以 CeeOn A911 是 Z900 的标准对照晶体。结果显示散瞳下 Z900 在小于 25% 对比度时有更高的对比敏感度。另外, 在弱光下视力比亮光下更受高价像差的影响^[9], 所以非球面人工晶体在夜间活动尤其是驾驶更具有优势。Mester 等^[16]对 45 例患者行双眼人工晶状体植入术, 左右眼分别植入 Tecnis Z9000 晶状体及 Allergan SI-40 晶状体, 术后 1 个月及 3 个月对其复查, 证明尤其在弱光下视觉质量提高明显。

但是, 还有些模型眼研究^[10,18]认为本身有球差的人工晶体在不在轴位时影响光学传递函数, 而且影响程度取决于内在的球差大小。Griffith 等人^[10]对比了 3 硅凝胶 IOL (LI61U, Bausch&Lomb; Tecnis Z9000, AMO 和 Bausch&Lomb 新推出的新的消球差晶体 SofPort AO) 偏心时的光学质量。结果证明 SofPort AO 因本身无球差其光质量不受偏心影响, 而 Tecnis Z9000 和 LI61U 偏心会导致非对称高阶像差增加, 并且 Tecnis Z9000 的术后效果不具有重复性可预测性。

2. 眼外科医生评价晶体光学性能: Peseudovs 等人^[21]认为人工晶体的光学性能应该用波前像差来

作为主要测量手段; 同视力相比, 波前像差更敏感体现人工晶体眼的学光差异。

Jaewan 等人^[16]用 Hartmann-shack 型像差仪比较了三种不同丙烯酸酯晶体和正常同龄人的高阶像差, 他们收集了 14 例 AcrySofMA60BM, 18 例 Sensor AR40, 19 例 Corneal ACR6D 与 12 例正常人比较。结果显示这几组的 3 阶像差(慧差)和四阶像差(球差)大小与正常人比没有统计学差异, 与以往研究结果不同(以往的研究表明植入 IOL 后正球差都增大^[12]), 但 Zernike 系数 C_3^3 (三叶草像差)比正常组明显向负性漂移。Zernike 系数与其他光学性能的关系还未完全明确, 有报道慧差转为球差后对比敏感度下降^[20]。

Taketani 等人^[19]研究了襻硬度不同的两种折叠丙烯酸酯晶体的高阶像差。他们用眼产节照相系统测出 Acrysof60AC(一片式)和 Acryfold60BB(三片式)晶体组病人术后倾斜度数(认为是襻的不同引起的), 两种晶体倾斜度有统计学差异, 分别为 2.22 ± 1.44 和 3.18 ± 1.84 度; 用 Hartmann-shack 像差仪测得两组 6mm 区和 4mm 区的角膜像差, 总球差, 总慧差和总像差相同, 但 6mm 瞳孔区域内, Acryfold60BB 眼内学光代偿角膜像差的能力(用代偿因子 $cf = 1 - [RMS(eye)/RMS(corneal)]$ 比较)比 Acrysof-60AC 好, 所以得出 60BB 引起的慧差和总像差比 MA60AC 大; 瞳孔较大时, 三片式晶体的像差小。

Villarrodona 等^[23]也对分析了几种类型的人工晶状体 (AcrySofMA30AC IOL, AcrySof-MA30BA IOL, SI-30BA IOL) 之间产生的像差相近, 硅凝胶人工晶状体 (SI-30NB IOL) 与 PMMA 人工晶状体 (MZ30BD IOL) 产生的像差相近, 但前两者的像差远高于后两者。丙烯酸酯人工晶状体产生的正球差最大, PMMA 人工晶状体次之, 硅凝胶人工晶状体产生的正球差最小。这说明硅凝胶人工晶状体可更好地抵消角膜的正像差。这可能与人工晶状体的屈光指数有关, 植入晶状体的屈光指数越高, 所产生的高阶像差也越大, 如丙烯酸酯人工晶状体的屈光指数为 1.55, 其所产生的像差高于屈光指数 1.46 的硅凝胶人工晶状体及屈光指数为 1.49 的 PMMA 人工晶状体。另外, 人工晶状体的物理学特性也可能对像差有影响, 但这还需要进一步的研究证实。

Taketani 等人^[3]利用高阶像差分析比较了人工晶体后表面更凸的双凸晶体 (AcrySof MA30BA) 和前表面更凸的双凸晶体 (AcrySof MA30AC)。在 4mm 大瞳孔区, 两组角膜和总像差没有差别, 在 6mm 大瞳孔区, 两组角膜高阶像差一样, 而 AcrySof

MA30AC 要比 AcrySof MA30BA 的球差 (S4+S6) 小, 但慧差 (S3+S5) 和总像差区别不明显。

3. 对人工晶体的选择的指导: 目前市场上人工晶体多样, 高阶像差也帮助医生个体化选择人工晶体。前表面更凸的晶体比后表面更凸的晶体球差小^[3], 而后表面更凸的晶体可减少眩光^[22], 选择晶体时应综合考虑病人年龄, 职业等; 如, 青年人白内障手术瞳孔较大, 像差使影响成像质量的主要因素, 所以, 选择前表面更凸的晶体对青年病人更有利^[3]。而对于司机, 选择非球面晶体更为宜。

四、白内障不同手术方式的评价

1. 透明角膜入口和巩膜隧道切口的比较: K-onarad Pesudovs 等人^[21]通过测量 AcrySof 晶体眼像差比较了透明角膜切口和巩膜隧道切口。巩膜隧道是在鼻或者颞上像限 (取决于术眼) 离角膜缘 1.5 mm 做弦长为 5mm 的眉弓型切口, 舌形刀分离巩膜成隧道, 最后用 2.75mm 角膜刀扩成 3.5mm, 在隧道前部穿刺进入前房。透明角膜切口采用三面法, 用 2.75mm 角膜刀在角膜的上象限我膜后缘做外切口, 同样用 2.75mm 角膜刀扩口至 3.5mm 长。结果表明角膜切口术后的总像差更大, 球差的变化不是由于术后角膜形状的改变 (术前术后角膜的球差不变), 并且角膜四叶草像差变大可能是由于手术切口在角膜造成的, 这一点还有能证实, 只是根据巩膜隧道切口没有四叶草像差改变而推测如此。研究结果提示选择巩膜切口可能减少弱光条件下增大的像差, 但是像差的改变对病人视觉功能影响并不大, 提示混杂有其他因素。

2. 微切口双手法超声乳化的评价: 郝海生等人^[17]亦测量了 4 例老年性核性白内障患者在行 1.6 mm 微切口双手法超声乳化术前和植入 Thinoptix Rollable Ultrachoice 1.0 术后两个月的像差。在瞳孔直径为 7mm 时, 用 Allegretto 波阵面像差分析仪测出了高阶 RMS 和球差, 证实微切口双手超声乳化联合超薄晶体植入术可明显减少像差, 尽管术后患者有眩光现象, 此种手术方法值得我们进一步研究应用。

参 考 文 献

- 1 Kuroda T, Fujikado T, Nonomiya S, et al. Effect of aging on ocular light scatter and higher order aberrations. *J Cataract Refract Surg*, 2002; 18: S598-S602
- 2 Takashi Fujikado, Teruhito Kuroda, Naoyuki Maeda, et al. Wavefront analysis of an eye with monocular triptopia and nuclear cataract. *Am J of Ophthalmol* 2004, 137: 361-363
- 3 Futoshi Taketani, Eiichi Yukawa, Toshiaki Yoshii, Influence of intraocular lens optical design on high-order aberrations *J Cataract*

- Refract Surg 2005; 31: 969-972
- 4 Oshika T, Kawana K, Hiraoka T, et al. Ocular high-order wavefront aberration caused by major tilting of intraocular lens. *Am J Ophthalmol* 2005; 140: 744-746
- 5 Kuroda T, Fujikado T, Maeda N, et al. Wavefront analysis of higher-order aberrations in patients with cataract *J Cataract Rferact Surg* 2002; 28: 438-444
- 6 Nisha Sachdev, Susan E. Ormonde, Trevor Sherwin, Higher-order aberrations of lenticular opacities *J Cataract Refract Surg* 2004; 30: 1642-1648
- 7 Futoshi Taketani, Toyoaki Matuura, Eiichi Yukawa, et al. Influence of intraocular lens tilt and decentration on wavefront aberrations *J Cataract Refract Surg* 2004; 30: 2158-216 2005
- 8 Li Wang, Ricardo, Santaella, et al. High-order aberrations from the internal optics of the eye. *J Cataract Refract Surg*, Vol 31, Aug 2
- 9 Pepose JS, Applegate RA. Making sense out of wavefront sensing. *Am J of Ophthalmol* Feb 2005 Vol 139. No 2: 335-343
- 10 Griffith E. Altmann, Louis D. Nichamin, Stephen S. Lane, et al. Optical performance of 3 intraocular lens designs in the presence of decentration. *J Cataract Refract Surg* 2005; 31: 574-585
- 11 Miller JM, Anwaruddin R, Straub J, Schwiegerling J: Higher order aberrations in normal, dilated, intraocular lens, and laser in situ keratomileusis corneas. *J Refract Surg* 2002, 18: S579-S583
- 12 Halladay JT, Piers PA, Koranyi G, et al: A new intraocular lens design to reduce spherical aberration of pseudophakic eyes. *J Refract Surg* 2002, 18: 683-691
- 13 Packer M, Fine IH, Hoffrcuan RS, et al. Improved functional vision with a modified prolate intraocular lens, *J Cataract Surg*, 2004, 30: 986-992
- 14 Feferico Ricci, Gianluca Sucuderi, Filippo Missiroli Low contrast visual acuity in pseudophakic patients implanted with and anterior surface modified prolate intraocular lens *Acta Ophthalmol. Scand.* 2004: 82: 718-722
- 15 Mester U, Diuinger P, Anterist N. Impact of a modified optic design of visual function: clinical comparative stuay. *J Cataract Refract Surg*, 2003, 29: 652-660
- 16 Jaewan Choi, Tae-in Kim, Hungwon Tchah, Comparison of wavefront aberration after cataract surgery with acrylic intraocular lens implantation *J Cataract Refract Surg* 2005; 31: 324-329
- 17 郝燕生, 尹连荣, 赵阳. 6mm 微切口白内障摘除联合超薄人工晶体植入术, *中国实用眼科杂志* 2005 年 6 月第 23 卷第 6 期
- 18 Korynta J, Bok J, Cendelin J, Michalova K. Computer modeling of visual impairment caused by intraocular lens misalignment. *J Cataract Refract Surg* 1999; 25: 100-105
- 19 Futoshi Taketani, Wiich Yukawa, Tetsuo Udea, et al. Effect of tilt of 2 acrylic intraocular lenses on high-order aberrations. *J Cataract Refract Surg*, 2005; 31: 1182-1186
- 20 Fujikado T, Kuroda T, Maeda N, et al. Light scattering and optical aberrations as objective parameters to predict visual deterioration i eyes with cataracts. *J Cataract Refract Surg* 2004; 30: 1198-1208
- 21 Konrad Pesudovs, Holger Dietze, MSc, Owen G. Stewart, Effect of cataract surgery incision location and intraocular lens type on ocular aberrations *J Cataract Refract Surg* 2005; 31: 725-734
- 22 Eire JC, Bandhuaer MH. Intraocular lens surfaces and their relationship to postoperative glare. *J Cacaract Refract Surg* 2003; 29: 336-341
- 23 Vilarrodona L, Barrett GD, Johnson B. High-order aberrations in pseudophakia with different intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2004; 30: 571-575

(收稿时间: 2006-01)