

高阶像差及对比敏感度在 LASIK 中的应用

冯华章, 张建华

作者单位:(200433) 中国上海市, 第二军医大学附属长海医院眼科

作者简介:冯华章,女,在读硕士研究生,研究方向:屈光不正及小儿斜弱视。

通讯作者:张建华,博士,教授,主任医师,硕士研究生导师,现任中华医学会激光医学分会委员,中华医学会上海分会激光医学专业委员会副主任委员,全军激光医学专业委员会委员,中华医学会激光医学分会眼科学组副组长,全军眼科专业委员会角膜病与屈光手术学组委员,上海市激光治疗质量控制中心专家组成员,《眼科新进展》杂志编委,国家自然科学基金委员会同行评议专家。chlasik@163.com

收稿日期:2010-06-07 修回日期:2010-06-12

Application of high order aberrations and contrast sensitivity function in LASIK

Hua-Zhang Feng, Jian-Hua Zhang

Department of Ophthalmology, Changhai Hospital, the Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

Correspondence to: Jian-Hua Zhang. Department of Ophthalmology, Changhai Hospital, the Second Military Medical University, Shanghai 200433, China. chlasik@163.com

Received:2010-06-07 Accepted:2010-06-12

Abstract

• High order aberrations have been a hot issue in the study of vision quality with the application of aberrations theory in LASIK. People want to correct high order aberrations partly through customized surgery to improve vision quality. At the same time, assessment of contrast sensitivity as an aspect of postoperative vision quality has been widely used. We reviewed the application of high order aberrations and contrast sensitivity function in LASIK.

• KEYWORDS: LASIK; high order aberrations; contrast sensitivity function

Feng HZ, Zhang JH. Application of high order aberrations and contrast sensitivity function in LASIK. *Int J Ophthalmol(Guoji Yanke Zazhi)* 2010;10(7):1344-1346

摘要

随着像差理论在 LASIK 中的应用,高阶像差也成为研究视觉质量中的热点问题,人们试图通过个体化手术部分矫正高阶像差,提高视觉质量。同时通过对比敏感度检查评估术后视觉质量在临床中也得到广泛应用。我们对高阶像差及对比敏感度在 LASIK 中的应用作一综述。

关键词:LASIK;高阶像差;对比敏感度

DOI:10.3969/j.issn.1672-5123.2010.07.035

冯华章,张建华.高阶像差及对比敏感度在 LASIK 中的应用.国际眼科杂志 2010;10(7):1344-1346

0 引言

1999年,Strang等^[1]率先将波前像差引导下的个体化角膜切削应用于临床,其目的是通过对部分高阶像差的矫正达到提高术后视觉质量的目的。高阶像差及对比敏感度在 LASIK 中的应用也越来越多的受到我们重视,并逐渐应用于临床,我们对高阶像差及对比敏感度在 LASIK 中的应用作一综述。

1 像差定义及分类

波前像差是一个物理概念。根据美国光学学会(optical society of american, OSA)推荐的眼像差标准,眼屈光系统的波前像差定义为:视网膜上点光源发出的实际出射波前同平面参考波前之间的偏差,其中平面参考波前取在眼入射光瞳(真实瞳孔经角膜折射后所成的像)面上^[2,3]。实际波前上的某点如果位于参考波前之前(相对于光传播的方向),那么这点的波前像差定义为正值,位于参考波前之后,波前像差则定义为负值,位于参考波前上定义为0。波前像差通常用 Zernike 多项式表达,通过计算均方根(root mean square, RMS)方便像差间的比较。其中一阶、二阶属于低阶像差,一阶表示 X 轴和 Y 轴的倾斜,二阶表示离焦和散光,可以通过球柱镜矫正,三阶以上的像差表示高阶像差,是影响视网膜成像的重要因素^[4-7]。一般认为三阶、四阶是主要的高阶像差,是主要影响成像质量的高阶像差,五阶以上的像差相对较小,对视觉影响较小^[8,9]。球差属于第四阶 Z40(Z12),球差是指眼屈光系统周边的折射大于中央的折射力时,平行光线经折射后,周边光线聚焦在中央光线之前,形成弥散光斑。彗差属于第三阶 Z31(Z7), Z3-1(Z8),指与主光轴成一定夹角的非平行光线,由于周边与中央的折射力不同,经屈光系统后,在距离主光轴和视网膜面距离不等处分别聚焦,形成一系列交错叠加的光斑。

在生理状态下,人眼也是存在像差的,这主要是由于屈光介质表面不理想,各屈光介质不同轴,内含物不均匀,角膜、晶状体、前后房厚度的差异及一些其他疾病等原因造成的。其中泪膜覆盖于角膜表面,其化学和形态的稳定对像差有重要影响,泪膜破坏可使高阶像差成倍的增加,尤其在瞳孔较大的情况下,这种像差的改变可增加至 2.5 倍。角膜作为屈光介质的重要组成部分,其屈光力占全眼的 2/3,像差大约占全部像差的 4/5。晶状体中央折射力较大,周边折射力较小,这种折射力的梯度变化特点有利于减少人眼像差,同时晶状体调节时也会引起像差的改变。

2 波前像差在准分子激光的应用

准分子激光角膜屈光手术一般采用波长为 193nm 的 ArF 准分子激光,通过准分子激光脉冲作用于细胞的分子键,产生光裂解使组织消融,每个激光脉冲大约切削 0.2~0.6 μ m 的组织深度。通过重塑角膜曲率达到矫正屈

光不正的目的。像差技术的发展,出现了波前像差引导的个体化准分子激光角膜屈光手术,该手术引入像差技术,以波前像差作为手术的主要参数,将像差转换为激光切削量,通过改变角膜曲率矫正低阶屈光不正的同时消除人眼像差,达到提高视觉质量的目的。要进行波前像差引导的个体化准分子激光角膜屈光手术,矫正高阶像差,以下几方面也非常重要:(1)要有准确精确的波前像差仪。(2)小光斑,根据 Huang 等^[10]的研究,2mm 的光斑可以矫正球镜及柱镜,但要矫正 6 阶的高阶像差,光斑直径必须达到 0.6mm。(3)高速的眼球跟踪系统,是保证切削的准确性的前提。(4)虹膜识别系统,能准确地描述出因改变体位引起的瞳孔中心偏离眼球的旋转角度,再通过改变激光器内扫描镜的角度自动校正该角度后进行激光角膜切削^[11,12]。这种技术不仅矫正了因体位不同引起的眼球旋转,而且可通过虹膜纹理,识别 Z 轴的偏移和旋转^[13]。

波前像差引导的个体化准分子激光角膜屈光术后仍有部分患者出现夜间视力下降、复视、对比敏感度下降,眩光现象等视觉干扰症状(night vision disturbance)。眩光是一个物理概念,指一种强烈而明亮的光源,眩光现象是一种视觉状态,眩光破坏了视网膜的适应状态,或眼内不均匀或非透明介质的散射作用,在视网膜上形成光幕样效应,而降低了目标物与周围环境的对比度,引起视觉质量下降。根据其对视觉质量的影响程度不同分眩光不适和眩光失能。有不少文献报道,屈光手术后视觉质量下降与术后高阶像差的增加有密切关系。波前像差引导的准分子激光角膜屈光术后高阶像差仍然增加,总结文献可能与以下因素有关:(1)像差测量本身存在一定缺陷,像差受瞳孔大小的影响^[4,7],测量范围有限,且测量时的状态与手术中矫正状态不一致。(2)波前像差与角膜切削量之间的对应关系仍处于探索中。(3)泪膜稳定性下降,由于角膜板层刀的使用及激光切削都会影响分布在角膜上的神经,导致泪膜稳定性下降,尤其当角膜上皮有缺损时,角膜表面不规则性改变,对视觉成像产生影响,Tutt 等^[14]发现干眼症患者在瞳孔中等大小时像差增加。(4)角膜瓣的制作过程产生了新的像差,临床病例分析显示,角膜瓣的制作会引起高阶像差的增加,Porter 等^[15]的研究表明,制作 LASIK 角膜瓣后 2mo,高阶像差大约增加 30%,其中 Z(3,3)的变化具有统计意义。Pallikaris 等^[16]发现制作 LASIK 角膜瓣后,第三、第四阶像差增加,尤其是球差和彗差。Charwan^[17]研究发现-6.00D 的近视经 8mm 切削光区切削后,多余的角膜瓣面积约为 1mm²,角膜瓣与其下的基质不匹配,产生皱褶,这也可能导致像差的改变、屈光回退以及对角膜不利的愈合反应。另外,机械角膜刀在制作角膜瓣的过程中,一些可能的并发症如纽扣瓣、角膜瓣破损、游离瓣等也是影响高阶像差的原因之一。Nordan 等^[18]采用激光制作 LASIK 角膜瓣,无相关并发症的发生,与机械角膜刀相比更为安全,减小了对术后的高阶像差的影响。(5)术后角膜愈合及角膜生物力学的改变^[19],角膜组织的愈合反应对像差的影响目前尚无定量,但角膜基质层被激光切断后,其牵拉作用会引起角膜形状的改变。Lee 等^[20]的研究发现, LASIK 后角膜后表面前凸很常见,这些都可能致术后的高阶像差增加。(6)亚临床偏中心切削, Mrochen 等^[21]报道,中心移位量即使小到 0.2mm 也会显著的增加术后高阶像差。(7)准分子激光角膜屈光术后角膜非球面形态的改变,这是术后高阶像差尤其是球差增

加的重要原因^[22],在切削光区与瞳孔直径不匹配时球差的增加更明显。

在波前像差表示为 Zernike 多项式的情况下,研究指出^[23],当 Zernike 多项式各个组合系数相等时,各项对视觉质量影响程度也是不同的,Zernike 各项中角频率靠近中央(0)的模式项比角频率靠近边缘的模式项对视觉灵敏度有更坏的影响。高阶像差各组成成分对视力的影响只是像差对视觉质量影响的一方面,还需要研究不同高阶像差之间的组合对视觉质量的影响。Applegate 等^[24]发现像差模式之间适当的组合能提高视觉质量,有些学者提出通过预先补偿某些像差项^[25],达到术后改善视觉质量的目的。

3 对比敏感度

在视觉呈现中有两个重要的参数:空间频率和对比度。空间频率就是指单位视角所包含的线条数,对比度就是指物体的颜色亮度和该物体背景颜色亮度的关系。目前常用的 Snellen 视力表对评价形觉功能有一定的局限性,视力表视力只能反映黄斑在高对比度情况下分辨微小目标(高空间频率)的能力。对比敏感度(contrast sensitivity function, CSF)则能更全面的反映眼的形觉功能,也更全面的评估术后对边界模糊物体及低对比度物体的分辨能力。CSF 指在明亮对比变化下,人眼视觉系统对不同空间频率的正弦光栅视标的识别能力。

4 对比敏感度临床分析结果

目前对临床病例分析显示准分子激光角膜屈光手术后早期对比敏感度下降,随着时间的延长,对比敏感度有所回升,部分能达到术前水平,分析这种现象,早期对比敏感度下降主要与激光切削后引起角膜水肿、瓣下微量组织碎屑残留、角膜瓣与基质层贴附不完全、角膜上皮修复愈合反应及层间反应、泪膜稳定性破坏等因素有关,术后高阶像差的增加也是重要原因,尤其在暗环境下这种表现更明显,早期高阶像差的增加与以上因素有关。3~6mo 后角膜愈合反应基本完成,形态重塑后,高阶像差的增加主要由手术切削过程中眼位的细微变化造成偏中心切削,及角膜形态学上的改变等因素导致。另外有些研究显示人的视觉皮层对像差具有明显的适应性,像差的改变打破了这种“平衡”,导致视觉质量下降,随着视觉皮层对像差的重新适应,视觉质量也会上升。临床资料分析:Yan 等^[26]评估了 LASIK 93 眼的近距离对比敏感度,时间点为术前、术后 1,6mo,发现术后 1mo 在全频谱空间频率上对比敏感度普遍下降,术后 6mo 有所恢复,其中高度近视眼与低中度近视眼相比对比敏感度下降更明显。Chan 等^[27]在研究中发现, LASIK 术后对比敏感度在各空间频率对比度普遍下降,至 6mo 时,对比敏感度恢复,同时对对比敏感度下降的程度与屈光度有关,近视度数越高下降越明显。目前已有许多文献证实了 LASIK 术后对比敏感度在各空间频段均下降,在术后 6mo 甚至更长时间,仍不能恢复至术前水平^[28-30]。国外一些学者用 CSV-1000E 检测 LASIK 术前、术后 1~9mo 明视和暗视下对比敏感度的变化,大部分病例统计结果显示术前、术后对比敏感度差别无统计学意义^[31,32]。国内王铮等对比波前引导 LASIK 与标准 LASIK 术后 CSF 变化研究发现,术后短期随访两组 CSF 均降低,术后 3~6mo 标准 LASIK 组接近术前水平,波前引导 LASIK 组则超过术前水平;长海医院屈光中心^[33]应用 CGT-1000 检测常规 LASIK 手术前后明环境视觉质量的研究,发现 LASIK 手术前后低中度近视患者对比敏感度高

于高度近视患者,术后1,3mo对比敏感度均有降低,且高度组下降更明显,但随时间推移有恢复趋势。Lee等^[34]的研究认为,需要矫正的屈光度不同可引起CSF在不同空间频率上的下降。关于对比敏感度的临床研究,各文献报道不同,分析原因一方面入选病例标准不同,检测时间点不同,另一方面,大家使用对比敏感度检测仪器不同,检测指标及环境都是影响结果的原因之一。关于高阶像差对对比敏感度的影响,研究证实高阶像差主要影响CSF曲线的中高频区(6.0,12.0和18.0c/d),使CSF的曲线在中高频区下降从而导致物像在视网膜上的成像质量下降,从而影响视觉质量。正常人的中频区对比敏感度高是由于人的视觉系统活动主要依赖于CSF的中频区,中频区对比敏感度的高低与中心视功能的质量有直接关系^[35,36]。近年国内研究也证明,中频区对比敏感度的高低与中心视功能的视觉质量有直接相关关系^[37]。

5 小结

高阶像差是影响LASIK术后视觉质量的关键因素,合理矫正高阶像差也就成为提高LASIK术后视觉质量的关键,波前引导的LASIK也是部分矫正术前高阶像差,同时影响高阶像差的因素繁多,不可预测因素复杂多样,同时我们对高阶像差对不同环境对比敏感度影响,以及高阶像差各成分相互关系对人眼的影响等问题都认识尚浅,还需要进一步探索和研究。

参考文献

- 1 Strang NC, Atchison DA, Woods RL. Effects of defocus and pupil size on human contrast sensitivity. *Ophthalmic Physiol Opt* 1999;19(5):415-426
- 2 Thibos LN, Applegate RA, Schwiegerling JT, et al. Standards for reporting the optical aberrations of eyes. *J Refract Surg* 2002;18(5):652-660
- 3 Thibos LN. Wavefront data reporting and terminology. *J Refract Surg* 2001;17(5):578-583
- 4 Oshika T, Klyce SD, Applegate RA, et al. Comparison of corneal wavefront aberrations after photorefractive keratectomy and laser *in situ* keratomileusis. *Am J Ophthalmol* 1999;127(1):1-7
- 5 Chalita MR, Chavala S, Xu M, et al. Wavefront analysis in post-LASIK eyes and its correlation with visual symptoms, refraction, and topography. *Ophthalmology* 2004;111(3):447-453
- 6 Chalita MR, Krueger RR. Correlation of aberrations with visual acuity and symptoms. *Ophthalmol Clin North Am* 2004;17(2):135-142
- 7 Oshika T, Miyata K, Tokunaga T, et al. Higher order wavefront aberrations of cornea and magnitude of refractive correction in laser *in situ* keratomileusis. *Ophthalmology* 2002;9(6):1154-1158
- 8 Zhou C, Chai X, Yuan L, et al. Corneal higher-order aberrations after customized aspheric ablation and conventional ablation for myopic correction. *Curr Eye Res* 2007;32(5):431-438
- 9 杜特新,沈晔,汪洋. 个性化LASIK与传统LASIK术后高阶像差改变的对比分析. *浙江大学学报* 2007;8(3):177-180
- 10 Huang D, Arif M. Spot size and quality of scanning laser correction of higher-order wavefront aberrations. *J Cataract Refract Surg* 2002; 28(3):407-416
- 11 Chernyak DA. Iris-based cyclotorsional image alignment method for wavefront registration. *IEEE Trans Biomed Eng* 2005;52(12):2032-2040
- 12 Chernyak DA. From wavefront device to laser: an alignment method for complete registration of the ablation to the cornea. *J Refract Surg* 2005;21(5):463-468
- 13 Kohnen T, B h ren J, K hne C, et al. Wavefront-guided LASIK with the Zyoptix 3.1 system for the correction of myopia and compound myopic astigmatism with 1-year follow-up: clinical outcome and change in higher order aberrations. *Ophthalmology* 2004;111(12):2175-2185
- 14 Tutt R, Bradley A, Begley C, et al. Optical and visual impact of tear break-up in human eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000;41(13):4117-4123

- 15 Porter J, MacRae S, Yoon G, et al. Separate effects of the microkeratome incision and laser ablation on the eye's wave aberration. *Am J Ophthalmol* 2003;136(2):327-337
- 16 Pallikaris IG, Kymionis GD, Panagopoulou SI, et al. Induced optical aberrations following formation of a laser *in situ* keratomileusis flap. *J Cataract Refract Surg* 2002;28(10):1737-1741
- 17 Charwan WN. Mismatch between flap and stromal areas after laser *in situ* keratomileusis as source of flap striae. *J Cataract Refract Surg* 2002; 28(12):2146-2152
- 18 Nordan LT, Slade SG, Baker RN, et al. Femtosecond laser flap creation for laser *in situ* keratomileusis; six-month follow-up of initial U. S. clinical series. *J Refract Surg* 2003;19(1):8-14
- 19 Hong X, Thibos LN. Longitudinal evaluation of optical aberrations following laser *in situ* keratomileusis surgery. *J Refract Surg* 2000;16(5):S647-650
- 20 Lee DH, Seo S, Jeong KW, et al. Early spatial changes in the posterior corneal surface after laser *in situ* keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2003;29(4):778-784
- 21 Mrochen M, Kaemmerer M, Mierdel P, et al. Increased higher-order optical aberrations after laser refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 2001;27(3):362-369
- 22 Moreno-Barriuso E, Lloves JM, Marcos S, et al. Ocular aberrations before and after myopic corneal refractive surgery; LASIK-induced changes measured with laser ray tracing. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2001;42(6):1396-1403
- 23 Applegate RA, Sarver EJ, Khemsara V. Are all aberrations equal? *J Refract Surg* 2002;18(5):556-562
- 24 Applegate RA, Marsack JD, Ramos R, et al. Interaction between aberrations to improve or reduce visual performance. *J Cataract Refract Surg* 2003;29(8):1487-1495
- 25 叶寒. 基于波前像差的角膜切削模型及其装备的研究 [博士学位论文]. 江苏南京:南京航空航天大学 2005年
- 26 Yan Z, Hu J, Gu X, et al. Contrast sensitivity function in myopic LASIK. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi* 2002;38(11):677-679
- 27 Chan JW, Edwards MH, Woo GC, et al. Contrast sensitivity after laser *in situ* keratomileusis one-year follow-up. *J Cataract Refract Surg* 2002;28(10):1774-1779
- 28 Hersh PS, Shah SI. Corneal topography of excimer laser photorefractive keratectomy using a 6-mm beam diameter; Summit PRK Topography Study Group. *Ophthalmology* 1997;104(8):1333-1342
- 29 Shah SI, Hersh PS. Photorefractive keratectomy for myopia with a 6-mm beam diameter. *J Refract Surg* 1996;12(3):341-346
- 30 Schwartz-Goldstein BH, Hersh PS. Corneal topography of phase III excimer laser photorefractive keratectomy; optical zone centration analysis; summit photorefractive keratectomy topography study group. *Ophthalmology* 1995;102(6):951-962
- 31 Krueger RR, Seiler T, Gruchman T, et al. Stress wave amplitudes during laser surgery of the cornea. *Ophthalmology* 2001; 108(6):1070-1074
- 32 Montes-Mic R, Espana E, Menezo JI. Mesopic contrast sensitivity function after laser *in situ* keratomileusis. *J Refract Surg* 2003;19(3):353-356
- 33 雷蕾,张建华,郑磊,等. 近视患者准分子激光原位角膜磨镶术前术后明环境下对比敏感度分析. *眼科新进展* 2009;11(1):19-22
- 34 Lee YC, Hu FR, Wang IJ. Quality of vision after *in situ* keratomileusis; influence of dioptric correction and pupil size on visual function. *J Cataract Refract Surg* 2003;29(4):769-777
- 35 Marcos S, Barbero S, Llorente L, et al. Optical response to LASIK surgery for myopia from total and corneal aberration measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2001;42(13):3349-3356
- 36 Moreno-Barriuso E, Lloves JM, Marcos S, et al. Ocular aberrations before and after myopic corneal refractive surgery; LASIK-induced changes measured with laser ray tracing. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2001;42(6):1396-1403
- 37 鲍连云,何伟,刘文辉,等. 屈光性弱视与屈光参差性弱视对比敏感度变化的比较. *眼科研究* 2001;19(2):147-149