

LASIK 手术对人眼波前像差的影响*

张梅¹, 王伟³, 王肇圻¹, 王雁², 赵堪兴²

(1 南开大学 现代光学研究所, 天津 300071)

(2 天津眼科医院, 天津 300020)

(3 济宁学院 物理系, 山东 曲阜 273155)

摘 要:采用主观光线追迹的像差仪测量人眼波前像差, 比较 3mm 和 6mm 瞳孔直径下, LASIK 手术前与术后四个月的 29 只人眼波像差情况. 数据比较分析表明, 手术后人眼高阶像差一般会大于术前, 且像差增量随术前屈光度数的增大和瞳孔直径的增大而增加, 如 3 mm 瞳孔直径下 86% 的人眼高阶像差的 $RMS_H < 0.12 \mu$, $> 0.4 \mu$. 比较人眼波像差的 Zernik 展开式中各项发现球差 Z_4^0 无论在 3 mm 还是 6 mm 孔径下术后改变都最大; 其中, 当比较 3 阶, 4 阶和 5 至 7 阶时可看出对于 3 mm 孔径第三阶术后改变比例较大, 为 1.87, 6 mm 时第四阶改变较大, 比例为 2.21.

关键词:主观像差仪; 高阶像差; LASIK 手术

中图分类号: O439

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2009)01-0148-4

0 引言

激光自 20 世纪 60 年代问世以来, 很快就被应用到眼科学领域. Trokel 于 1983 年^[1]将准分子激光应用于角膜切削, 于 1988 年开始眼科临床研究^[2], 此后准分子激光角膜屈光手术在全世界范围内得到了迅速发展, 逐步形成了准分子激光角膜表面切削术 (Photorefractive Keratectomy, PRK)、准分子激光角膜原位磨镶术 (Laser in Situ Keratomileusis, LASIK) 和准分子激光角膜上皮磨镶术 (Laser Epithelial Keratomileusis, LASEK). 准分子激光治疗屈光不正的原理是^[3]: 用准分子激光在角膜表面或基质内进行精确的定量切除, 改变角膜的屈度, 从而改变手术眼的屈光状态, 达到矫治屈光不正的目的.

LASIK 是目前主流的准分子激光手术方式, 其方法是用微型角膜刀做一角膜瓣, 在瓣上做准分子激光切削. 该手术特点是保留了角膜上皮及前弹力层, 因此更符合角膜解剖生理, 且能充分发挥准分子激光的优点, 成为当今世界最先进的治疗屈光不正的技术手段. 其术后疼痛小, 反应轻, 视力恢复快, 但可能存在角膜瓣的并发症.

随着角膜屈光手术的不断发展和完善, 愈来愈多的医生认识到这类手术在改善视力的同时, 也带来了敏感度的降低、夜间眩光、低对比度视力的下降等一系列问题. 随着波前像差概念的引入及其原理

研究的深入, 人们逐渐认识到这些问题与眼波前像差的改变密不可分^[4], 已有多篇文章报道在 PRK^[5]、LASIK^[6] 和 LASEK^[7] 术后波前像差增大, 尤其是高阶像差增大. 为了全面评价屈光手术治疗近视眼的临床疗效, 本研究运用主观式波像差仪测得实际人眼数据来比较和评估了 LASIK 手术对人眼波前像差的影响, 分析了术后波前像差的特点及其变化规律, 为波前像差引导的角膜个体化切削及进一步改进提供了临床依据.

1 测量方法

波前像差测量采用主观型像差仪 (WFA-1000, 苏州六六视觉有限公司), 是一种心理物理学的光线追迹技术 (Light Ray Tracing, LRT), 这种方法已有详细地报道^[8-9], 且有研究表面, 该像差仪具有较高的测量准确性和可重复性^[10]. 检查前首先调整波阵面像差仪至最佳状态, 使患者舒服地端坐于像差仪前, 调整像差仪的位置使监视屏上被检眼的虹膜成像最清晰, 然后嘱咐患者调整像差仪的调焦旋钮, 直至看到最清晰的视力表图像来补偿患者的屈光不正. WFA-1000 的整个测量系统分为测试通道、记录通道和光瞳监控通道三个部分. 测量光路提供给被测试者一个有视力表背景的画面和一个黄色十字靶标, 瞳孔取样孔板使光线在瞳孔上特定的 37 个位置上随机移动, 由于人眼像差的作用, 患者看到的十字靶标也发生相应的位置移动, 患者可以通过属于记录系统一即连接在计算机上的鼠标的移动来跟踪十字叉丝位置的变化. 当鼠标所控制的十字叉丝与视网膜上的十字叉丝像重合时, 点击鼠标. 在测试过程中, 眼睛瞳孔的位置由 CCD 摄像头跟踪. 像差仪记录了瞳孔在 37 个点上十字靶标的偏移量, 转换为波

* 国家自然科学基金重点项目 (60438030)、教育部南开大学天津大学合作基金项目和天津市科技攻关项目 (033183711) 资助

Tel: 022-23508332 Email: wangzq@nankai.edu.cn

收稿日期: 2007-08-07

前斜率,通过一系列的数学转换,将 37 个点的测量结果拟合到 7 阶 35 项 Zernike 展开式中.测量在暗室自然瞳孔状态下由同一位医生实施,每只眼进行检查 3 遍,取其平均值^[11].

本文选择进行 LASIK 手术的患眼 29 只,手术光学区均为 6 mm^[12-13],术前屈光度范围为: -1.75D~-10.25D,散光范围为:0D~-1.50D.分别对 LASIK 术前及术后 4 个月人眼用 LRT 方法检测波前像差以了解 LASIK 手术产生的像差极其影响.术中采用的激光器为小光斑高速飞点扫描和红外制导高速眼球跟踪系统,高速飞点扫描可以避免激光切削产生的气化烟雾对后续光斑的影响,不会导致后续光斑的能量衰减,从而避免了角膜中央岛现象出现;完善的眼球跟踪系统有效防止了切削区偏中心,因而有效减少术后彗差增大量.根据 WFA-1000 像差仪所得像差,利用 Schwiegerling^[14] 像差转换技术,分别比较了 3 mm 和 6 mm 瞳孔下 LASIK 手术带来的波前像差变化.

2 计算结果及分析

2.1 计算结果

图 1 为 3 mm 瞳孔下, LASIK 手术前后人眼整体波前像差和高阶像差的变化.图 2 则分别为 6 mm 瞳孔下, LASIK 手术前后人眼整体波前像差和高阶

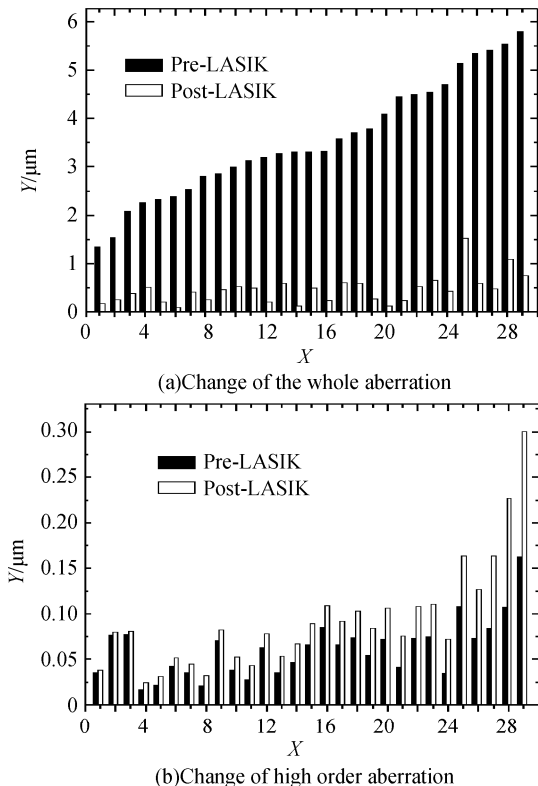


图 1 3 mm 瞳孔下人眼整体像差和高阶像差的变化
Fig. 1 Change of the whole aberration and high order aberration for 3 mm pupil

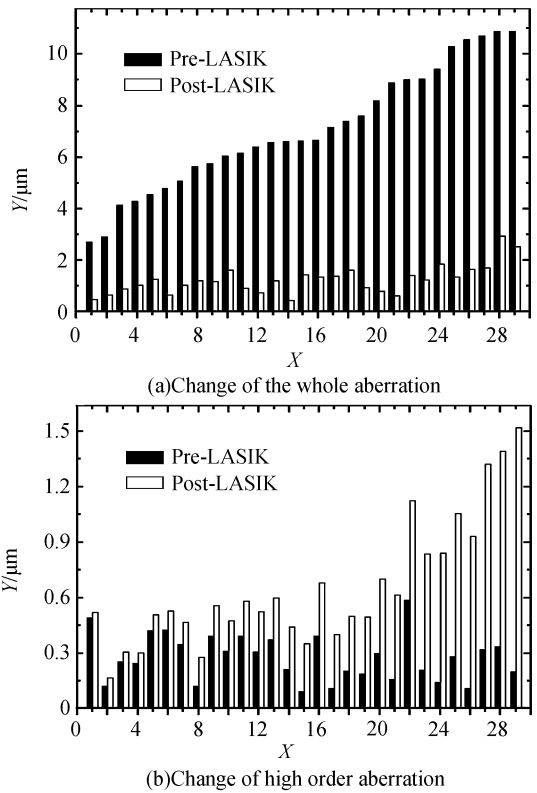


图 2 6 mm 瞳孔下人眼整体像差和高阶像差的变化
Fig. 2 Change of the whole aberration and high order aberration for 6 mm pupil

像差的变化.其中, X 轴为眼数,其排列顺序是按照术前屈光度数大小进行排列的; Y 轴为各眼对应的波前像差 RMS 值.实心黑图标为术前的波前像差值,空心白图标为术后对应的像差值.

由图 1(a)和图 2(a)可以看出,术前人眼的整体波前像差是随着屈光度的增加而增加的;由于手术对人眼离焦和像散的主要矫正,手术后人眼的整体波前像差明显降低.

由图 1(b)和图 2(b)则可以看出, LASIK 手术后,不论瞳孔大小,人眼高阶像差均有所增加,且瞳孔越大,像差增加越多,对于 3 mm 瞳孔直径,大多数 $RMS_H < 0.12 \mu > 0.4 \mu$. 同时还可以看出,术前屈光度越大,高阶像差增加越多.

表 1 为 6 mm 和 3 mm 孔径下, LASIK 手术前后主要各高阶像差的数据比较.其中,第一行的 H_{OA} 是指整个高阶像差, 3rd order 表示 Zernik 第三阶项 RMS 值(主要为彗差和三叶草),依次第四阶(主要为球差,二阶像散和四叶草),五至七阶.比较第三阶,第四阶以及五至七阶像差,可以看出对于 3 mm 孔径,在高阶像差中第三阶的术后比术前改变比例最大,为 1.87 对于 6mm 孔径第四阶像差改变比例最大为 2.21. 本文比较人眼波像差 Zernik 展开的各项值时,发现球差改变比例最大,由表中 Z_4^0 列出,其中 3 mm 孔径时比例为 2.08, 6 mm 时比例为 2.56.

表 1 LASIK 手术前后人眼高阶像差的变化

	6 mm pupil			3 mm pupil		
	Pre-LASIK	Post-LASIK	Average ratio (Post/Pre)	Pre-LASIK	Post-LASIK	Average ratio (Post/Pre)
H_{0A}	0.33 ± 0.12	0.67 ± 0.15	2.03	0.054 ± 0.013	0.106 ± 0.044	1.96
3rd order	0.25 ± 0.11	0.49 ± 0.10	1.96	0.047 ± 0.012	0.088 ± 0.023	1.87
4th order	0.14 ± 0.07	0.31 ± 0.08	2.21	0.018 ± 0.007	0.031 ± 0.014	1.72
5th~7th order	0.12 ± 0.01	0.16 ± 0.05	1.33	0.010 ± 0.005	0.016 ± 0.008	1.60
Z_4^0	0.09 ± 0.08	0.23 ± 0.17	2.56	0.013 ± 0.017	0.027 ± 0.019	2.08

2.2 分析及讨论

角膜屈光手术后,引起眼部高阶像差增大的原因很多,主要包括:

1)角膜的非球面性改变.正常的角膜是非球面的,周边的曲率小于中央的曲率,这可以补偿正常眼的球差;而屈光手术后,角膜周边的曲率比中央变陡.在正常眼中,周边光线聚焦在轴旁光线焦点之后;而屈光手术后,周边光线聚焦在轴旁光线焦点之前.这些改变使得术后球差增大,由表 1 数据可看出术后球差增大比例最大,且术后球差于术前的屈光度数和切削区直径有关^[15-16].

2)偏中心切削及中央岛: Mrochen 等^[17]报道,亚临床的偏中心切削(<1.0 mm)是导致屈光手术后彗差和球差增大的主要原因. Barriuso 等^[18]观察到 2 例术中失去主动跟踪的眼,术后彗差大于有主动跟踪的眼.

3)LASIK 手术过程中,角膜瓣的制作也会导致眼部高阶像差 RMS 的增大,原因在于:角膜瓣制作时的误差较大,会造成角膜瓣和基质床的表面凸凹不平,经激光切削后,角膜瓣不可能和基质床贴附完美,会产生不同程度的皱褶^[19],在完全愈合之前,一旦受到外力的冲击,有可能造成角膜瓣的移位;这些均改变了角膜的形状,造成了一部分不规则散光. Pallikaris 等观察发现,仅制作角膜瓣,不行激光切削,术后的屈光度虽然没有改变,但高阶像差 RMS 值是术前的 1.3 倍,证明了 LASIK 的角膜瓣会导致高阶像差的增大^[20].

此外,角膜水肿和瓣下或多或少存在的组织碎屑等,均可对波前像差造成影响.组织学研究结果表明,伤口愈合反应中的生物学多样性被认为是限制屈光手术结果可预测性的主要因素,也是影响角膜地形图或波前像差引导的准分子激光屈光手术达到最优视力的关键因素^[21].在不同患者之间甚至同一患者的不同眼之间,这种伤口愈合的生物学多样性都可能成为重要因素.

3 结论

综上所述,本文选取 LASIK 手术前和术后四个月的 29 只眼睛,在 3 mm 和 6 mm 瞳孔直径下的像差进行采集和分析比较,由于角膜非球面性的改变及各种手术因素使高阶像差比术前增加,且瞳孔越大像差量增加越多;同时术前屈光度数越大,术后像差增加越多.对于 3 mm 孔径,人眼波像差的 Zernik 展开项中第三阶术后术前变化比例较大,而 6 mm 情况则第四节像差变化比例最大;无论 3 mm 还是 6 mm 孔径,人眼波像差 Zernik 展开式中球差项改变比例最大.

参考文献

- [1] TROKEL S L, SRINIVASAN R. Excimer laser surgery of the cornea[J]. *Am J Ophthalmol*, 1983, **96**: 710-715.
- [2] MARSHALL J, TROKEL S L, ROTHERY S, *et al.* Long-term healing of the central cornea after photorefractive keratectomy using an excimer laser[J]. *Ophthalmology*, 1988, **95**: 1411-1421.
- [3] LU Wen-xiu. Excimer laser refractive corneal surgery[M]. Beijing: Scientific and Technical Document Publishing House, 2000: 150.
陆文秀. 准分子激光屈光性角膜手术学[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2000: 150.
- [4] OSHIKA T, KLYCE S D, APPLGATE R A, *et al.* Comparison of corneal wavefront aberrations after photorefractive keratectomy and laser in situ keratomileusis [J]. *Am J Ophthalmol*, 1999, **127**: 1-7.
- [5] SEILER T, KAEMMERER M, MIERDEL P, *et al.* Ocular optical aberrations after photorefractive keratectomy for myopia and myopic astigmatism[J]. *Arch Ophthalmol*, 2000, **118**: 17-21.
- [6] MORENO B E, LLOVES J M, MARCOS S, *t al.* Ocular aberrations before and after myopic corneal refractive surgery: LASIK-induced changes measured with laser ray tracing[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2001, **42**: 1396 - 1403.
- [7] WANG Jing, XIAO Lei. Influences of LASEK on wavefront aberrations to human eyes [J]. *Recent Advances in Ophthalmology*, 2004, **24**(6): 468-471.
王晶, 肖磊. LASEK 对人眼波前像差的影响[J]. 眼科新进展, 2004, **24**(6): 468-471.

- [8] HE J C, MARCOS S, WEBB RH, *et al.* Measurement of the wave-front aberrations of the eye by a fast psychophysical procedure[J]. *J Opt Am A*, 1998, **15**:2449-2456.
- [9] HE J C, GWIAZDA J, THORN F, *et al.* Wave-front aberrations in the anterior corneal surface and the whole eye. [J]*J Opt Am A*, 2003, **20**:1155-1163.
- [10] HE J C, SUN P, HELD T, *et al.* Wave-front aberrations in the eyes of emmetropic and moderately myopic school children and young adults[J]. *Vis Res*, 2002, **42**:1063-1070.
- [11] WU Bao, ZHU Ren-yuan. A comparative study between laser in situ keratomileusis and laser epithelial keratomileusis on correcting high muopia by evaluating the visual quality[J]. *Chinese Journal of Practical Ophthalmology*, 2005, **23**(10): 1063-1067.
吴莹, 褚仁远. 准分子激光原位角膜磨镶术和准分子激光上皮下角膜磨镶术矫正高度近视的视觉质量对比研究[J]. *中国实用眼科杂志*, 2005, **23**(10):1063-1067.
- [12] MOK K H, LEE V W. Effect of optical zone ablation diameter on LASIK induced higher order optical aberrations [J]. *Refract Surg*, 2005, **21**:141-143.
- [13] DAVIDORF J. Effect of varying the optical zone diameter on the results of hyperopic laser in situ keratomileusis [J]. *Ophthalmology*, **108**(7): 1261-1265.
- [14] SCHWIEGERLING J. Scaling Zernike expansion coefficients to different pupil sizes[J]. *Opt Soc Am A*, 2002, **19**:1937 - 1945.
- [15] SCHWIEGERLING J, SNYDER R W. Corneal ablation patters to correct for spherical aberration in photorefractive keratectomy[J]. *Cataract Refract Surg*, 2000, **26**:212-214.
- [16] MROCHEN M, KAEMMERER M, SEILER T. Clinical results of wavefront-guided laser in situ keratomileusis 3 months after surgery[J]. *Cataract Refract Surg*, 2001, **27**: 201-207.
- [17] MROCHEN M, KAEMMERER M, MIERDEL P. Increased higher-order optical aberrations after laser refractive surgery [J]. *Cataract Refract Surg*, 2001, **27**:406-413.
- [18] MORENO-BARRIUSO E, LLOVES J M, MARCOS S. Ocular aberrations before and after myopic corneal refractive surgery: LASIK-induced changes measured with laser ray tracing[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2001, **42**:1396-1403.
- [19] PRIGLINGER S G, NEUBAUER A S, MAY C A, *et al.* Optical coherence tomography for the detection of laser in situ keratomileusis in donoe corneas[J]. *Cornea*, 2003, **22**:46-50.
- [20] PALLIKARIS I G, KYMIONIS G D, PANAGOPOULOU S I. Induced optical aberrations following formation of a laser in situ keratomileusis flap[J]. *Cataract Refract Surg*, 2002, **28**: 1717-1718.
- [21] WILSON S E, MOHAN R R, HONG J W. The wound healing response after laser in situ keratomileusis and photorefractive keratectomy: elusive control of biological variability and effect on custom laser vision correction [J]. *Arch Ophthalmol*, 2001, **119**:889-896.

Effect of LASIK Refractive Surgery on Wave-front Aberration of Human Eye

ZHANG Mei¹, WANG Wei³, WANG Zhao-qi¹, WANG Yan², ZHAO Kan-xing²

(1 *Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071, China*)

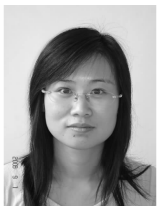
(2 *Tianjin Eye Hospital, Tianjin 300020, China*)

(3 *Physics Department, Jining University, Qufu, Shangdong 273155, China*)

Received date: 2007-08-07

Abstract: Employing the subjective ray-tracing aberrometry to measure the wave-front aberration of human eye, the database of 29 eyes previous surgery and post-surgery of four months in the case of pupil diameter with 3mm diameter and 6mm were analyzed, respectively. The results show the high order aberration of post-surgery is usually larger than that of previous surgery, and the increment is growing with the increase of refraction error before surgery and pupil diameter. The high-order aberration RMS_H is less than 0.12μ for 86% of eyes in the case of 3mm pupil diameter, while it is more than 0.4μ for 80% of eyes in the case of 6mm. Comparing every term in the Zernik polynomial of wave-front aberration, it is clear to see that the change of spherical aberration Z_4^0 is the largest no matter for 3mm or 6mm pupil diameter. When contrasting the third, fourth and fifth-to-seventh order in Zernik polynomial, it is shown clearly that the ratio of aberration change of the third order as 1.87 is largest among them for 3mm pupil diameter, while that of the fourth order as 2.21 is the largest for 6mm.

Key words: Subjective aberrometry; High order wave-front aberration; LASIK refractive surgery



ZHANG Mei was born in 1984, and received her B. S. degree from Hebei University in 2004. At present, she is a Ph. D. degree student at Institute of Modern Optics, Nankai University. Her research interests focus on the wave front aberrations of human eye and optical design.