

文章编号: 0253-2239(2006)10-1532-5

激光原位角膜磨镶手术后不良症状的光学分析*

刘永基¹ 母国光¹ 王肇圻¹ 王雁²

(¹南开大学现代光学研究所 光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300071)
(²天津眼科医院, 天津 300010)

摘要: 测量了准分子激光原位角膜磨镶(LASIK)手术后人眼的单色像差。并根据术后症状,将所有数据分类为视物星芒状组、单眼复视组、视物雾状组和参考组。视物星芒状组和视物雾状组的三阶和四阶泽尼克(Zernike)像差的均方根(RMS)值明显大于无症状的参考组。术后有不良症状各组的人眼的调制传递函数(MTF)明显低于参考组的调制传递函数。在明视觉条件下,四阶像差特别是对称性的泽尼克球差,对调制传递函数的影响大;而在暗视觉条件下,三阶像差特别是非对称性的泽尼克彗差对调制传递函数的影响大。四阶以上的高阶像差对各有症状组的调制传递函数曲线有影响,而这些高阶像差对参考组的调制传递函数已无明显影响。像差的均方根值和调制传递函数曲线是研究术后不良症状的较有效光学手段。

关键词: 医用光学与生物技术; 视光学; 人眼像差; 调制传递函数; 泽尼克像差

中图分类号: R778 文献标识码: A

Optical Analysis of Different Visual Symptoms after LASIK Surgery

Liu Yongji¹ Mu Guoguang¹ Wang Zhaoqi¹ Wang Yan²

(¹ *The Key Lab of Optoelectric Information, Science and Technology, Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 30071*
² *Tianjin Eye Hospital, Tianjin 300010*)

Abstract: Monochromatic aberrations of post-LASIK eyes, which are categorized into starburst group, doublevision group, moisture group and reference group according to their visual symptoms, are measured. The root-mean-square (RMS) value of the third and the fourth-order aberrations from the starburst group and moisture group are larger than the counterparts from the reference group. The modulation transfer function (MTF) of the first three groups is obviously lower than that of the reference group. It is found that in daytime, the fourth-order aberrations, especially the symmetrical Zernike spherical aberration, have more effects on the modulation transfer function, while the effects of the third-order aberrations, especially the asymmetrical Zernike coma, on MTF are more important at night. Higher-order aberrations above the fourth-order still affect the eyes suffered from visual symptoms, whereas no evident effect on eyes of the reference group is found. RMS and MTF are effective ways to study the visual symptoms after surgery.

Key words: medical optics and biotechnology; vision optics; human eye aberrations; modulation transfer function; Zernike aberrations

1 引 言

角膜屈光手术如准分子激光角膜表面切削术(PRK)和准分子激光原位角膜磨镶(LASIK)术常用来矫正近视、远视及散光,手术后有较高的患者满意度^[1,2]。但是仍有一部份患者抱怨手术后有视物星芒状、雾状、单眼复视等夜间术后不良症状^[3,4]。研究发现,尽管屈光手术矫正了低阶像差,但是手术

本身引入了高阶像差^[5,6]。高阶像差对视觉质量的影响也就成为人们所关注的研究领域^[7]。一些研究工作表明^[8,9],高阶像差的矫正后,人眼的点扩展函数(PSF)、调制传递函数(MTF)会得到提高。但是这些研究工作是对未进行激光屈光手术的眼睛进行的,并未结合临床进行研究。而临床医生^[3]则根据临床数据,通过统计学分析,分析了术后视觉不良症

* 国家自然科学基金重点项目(60438030)和天津市科技攻关项目(033183711)资助课题。

作者简介: 刘永基(1977~),女,河北昌黎人,南开大学讲师,博士,主要从事光学信息处理及视觉光学方面的研究。

E-mail: lyj@mail.nankai.edu.cn

收稿日期: 2006-01-19; 收到修改稿日期: 2006-02-21

状同高阶像差的关系,但他们却不能结合光学原理进行分析,而将临床症状同光学分析相结合是很有意义的。所以本文结合临床激光原位角膜磨镶手术后出现的夜间视觉不良症状,用光学的方法对其进行了分析,阐述术后高阶像差对成像的影响。

2 方 法

进行双眼激光原位角膜磨镶手术的 42 个患者的 84 只眼,其中 20 人(48%)为男性,22 人(52%)为女性。患者的平均年龄是 22 岁(20~38 岁之间),术前的平均屈光不正为 -5.92D (-2.75D ~ -10.5D 之间)。所有数据均是患者 LAISIK 手术后 1~4 个月获得的。所有的患者健康状况良好,并且进行了全面的眼科检查,包括裂隙灯检查、视力检查、对比敏感度检查和波前像差的检查。

为了找出高阶像差对成像的影响,根据患者的主诉,将患者分为视物星芒状(starburst)组(8 只)、单眼复视(doublevision)组(8 只眼)、视物雾状模糊(moisture)组(14 只眼)。将术后没有症状的一组人眼作为参考(reference)组(54 只眼)。

由同一个人用 VWF-100 人眼波像差仪测量出人眼波前像差的数据。此测量方法是用主观方法来测量人眼像差^[10]。每只眼睛的像差测三次,取其平均值用于后面的分析。波前像差用 35 个泽尼克多项式表示,泽尼克多项式系数根据美国光学学会标准委员会的标准^[11]排序。参加分析的人眼像差均在瞳孔直径不小于 6 mm 的条件下测得。

3 数据处理

调制传递函数用于评价视网膜的成像质量。由眼睛瞳函数的自相关求得二维的调制传递函数。将二维的调制传递函数进行径向平均求出一维的调制传递函数曲线。计算眼睛的调制传递函数时没有考虑眼睛的斯太耳斯-克劳福德(Stiles-Crawford)效应,因为在眼睛的中心窝处斯太耳斯-克劳福德效应非常小^[8]。为了分析各阶泽尼克^[12]像差的影响,计算了每组各阶泽尼克像差的均方根值。

4 结果与讨论

4.1 各组各阶泽尼克像差对高阶像差的贡献

不管激光原位角膜磨镶手术后是否有夜间不良视觉症状,术后的高阶像差均增大。首先分析了各组各阶泽尼克像差对高阶像差的贡献(高阶像差指

的是不含有离焦、泽尼克像散这两个二阶泽尼克像差),其结果如表 1 所示。

表 1 各组各阶泽尼克像差对高阶像差的贡献

Table 1 Contributions of each order Zernike aberrations to higher order aberrations of the eye

	Referent	Starburst	Doublevision	Moisture
3 order /%	32.7	41.9	29.4	31.5
4 order /%	22.4	26.1	21.6	25.3
5 order /%	17.9	12.5	19.6	18.5
6 order /%	13.4	10.3	13.6	11.9
7 order /%	13.7	9.2	15.8	12.9

由表 1 可以看出,各阶泽尼克像差对高阶像差的贡献都随阶数的增加而降低。其中视物星芒状组,三阶像差对高阶像差的贡献高达 41.9%。各个症状组与无症状的参考组在各阶泽尼克像差对高阶像差的贡献方面没有明显的区别。视物星芒状组第七阶泽尼克像差对高阶像差的贡献最少,但也高达 9.2%。因此对于术后人眼像差,用 7 阶泽尼克多项式表示是比较合理的。为了区别各个症状组同无症状组之间的差别,需要进一步的分析。

4.2 各组各阶泽尼克像差的均方根分布

计算了各组人眼各阶泽尼克像差的均方根分布,结果如图 1 所示。尽管各组中各阶泽尼克像差对高阶像差的贡献没有明显不同,但是各组的均方根分布却有很大的差别。对于视物星芒状组,它的均方根值曲线高于参考组,特别是三阶和四阶的泽尼克像差的均方根值大约是参考组相应像差的均方根值的两倍。视物雾状模糊组的三阶和四阶泽尼克像差的均方根值也明显大于参考组的相应值。而单眼复视组和参考组的均方根值分布没有明显的区别。

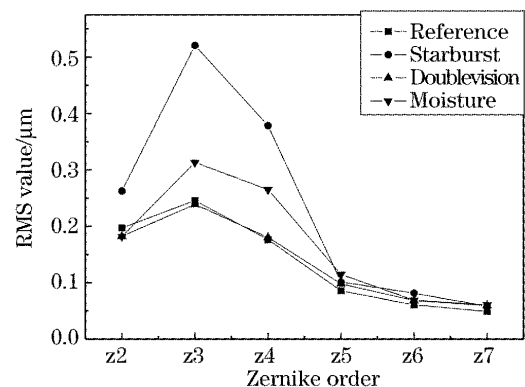


图 1 各组各阶泽尼克像差的均方根值

Fig. 1 RMS value of every Zernike order aberrations for all groups

4.3 不同条件的调制传递函数曲线分析

为了研究高阶像差对人眼调制传递函数曲线的

影响,下面的讨论中,计算调制传递函数的波前像差数据中均不包含二阶泽尼克像差即离焦和泽尼克像散。各组的调制传递函数曲线是其组中所有眼睛的调制传递函数曲线的平均值。

图 2 给出了 5.8 mm 瞳孔下各组的调制传递函数曲线。由图中可以看出,参考组的调制传递函数曲线明显高于有症状各组的调制传递函数曲线。特别注意的是,单眼复视组的调制传递函数曲线与参考组的调制传递函数曲线已经有了明显的区别,而它们的均方根值曲线分布,则没有明显的区别。这说明,调制传递函数曲线能够更有效的反映各个症状之间的差别。

由于术后不良视觉症状一般出现在夜间,也就是瞳孔比较大的情况下,为了便于分析比较,计算了 3 mm 和 5.8 mm 瞳孔下各组在不同条件下的调制传递函数曲线。图 3(a)~图 3(d)给出了在 3 mm 瞳孔下各组在矫正不同阶像差时的调制传递函数曲线。例如,MTF3 指矫正第三阶像差而其他各阶像差保持不变时,求得的调制传递函数曲线,各调制传递函数曲线的含义以此类推。

由图 3 中可以看出,对于所有的组,第四阶泽尼克像差的矫正,均使调制传递函数有明显的提高。而由术后波前像差的数据可知,第四阶泽尼克像差中的

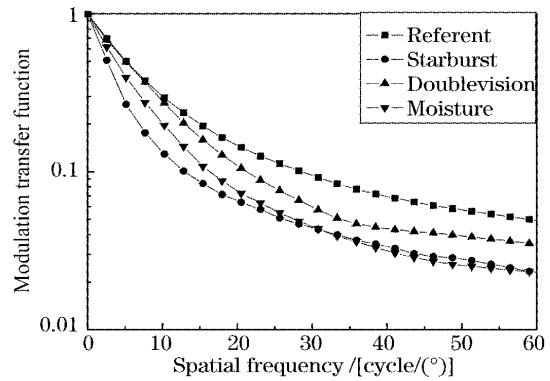


图 2 瞳孔直径为 5.8 mm 时,无症状人眼与各种症状人眼 MTF 曲线比较

Fig. 2 Comparison of MTF curves for all the groups when the pupil diameter is 5.8 mm

具有对称性的泽尼克球差最大。可以认为在小瞳孔也就是明视觉条件下,对称性的泽尼克像差对调制传递函数的影响最大。没有不良症状参考组,除了第四阶像差外,其他各阶像差的矫正对调制传递函数曲线几乎没有影响。而有术后不良视觉症状的各组,其他各阶像差的矫正对调制传递函数均有影响。

图 4(a)~图 4(d)给出了在 5.8 mm 瞳孔下各组在矫正不同阶像差时的调制传递函数曲线。从图中可以看出,在大瞳孔条件下,也就是暗视觉的条件下,第三阶泽尼克像差的作用变得明显。而三阶泽尼克

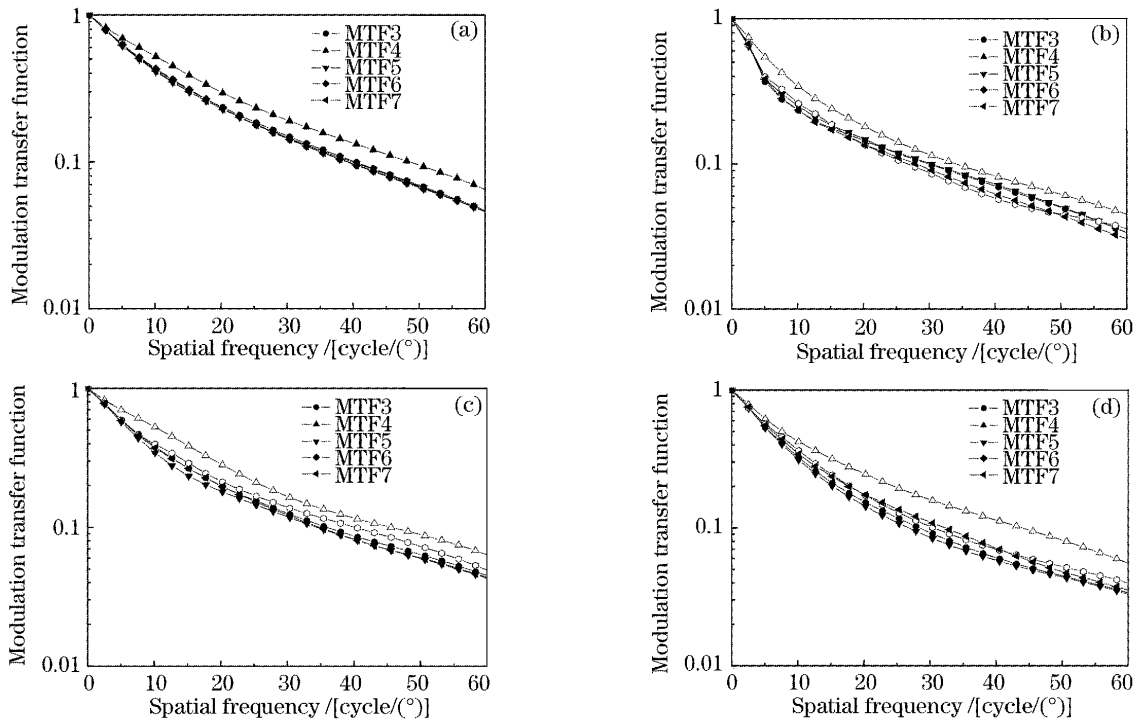


图 3 瞳孔直径为 3 mm 时,参考组(a),视物星芒状组(b),单眼复视组(c),视物雾状模糊组(d)在各种条件下的调制传递函数曲线

Fig. 3 MTF curve under different conditions for the reference group (a), the starburst group (b), the moisture group(c), the doublevision group (d) for 3 mm pupil diameter

像差中最主要的是非对称性的泽尼克彗差。这表明在大瞳孔条件下,非对称性的泽尼克像差对调制传递函数曲线的影响开始变大。参考组在大瞳孔条件下,矫正三阶泽尼克像差和矫正四阶泽尼克像差对调制

传递函数曲线的作用基本相同。视物星芒状组三阶泽尼克像差的矫正对调制传递函数曲线的提高作用是非常明显的。视物雾状模糊组三阶泽尼克像差的矫正对调制传递函数曲线的提高作用也比较明显。

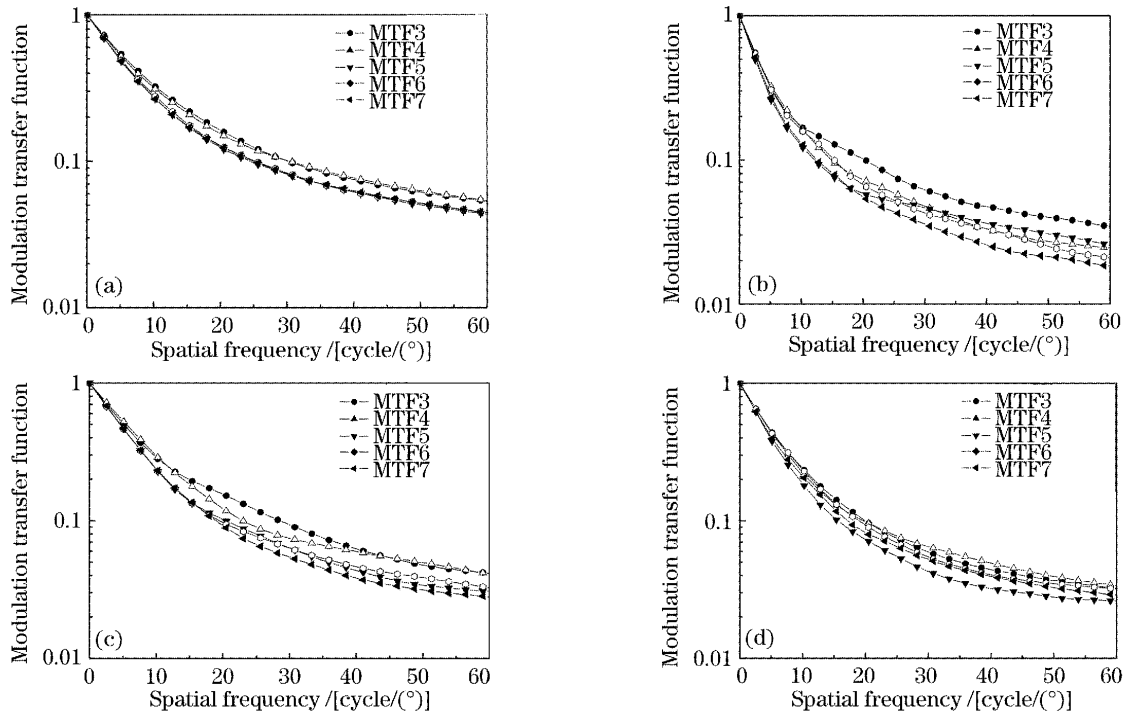


图 4 瞳孔直径为 5.8 mm 时,参考组(a),视物星芒状组(b),单眼复视组(c),视物雾状模糊组(d)组在各种条件下的调制传递函数曲线

Fig. 4 MTF curve under different conditions for the reference group (a), the starburst group (b), the moisture group (c), the doublevision group (d) for 5.8 mm pupil diameter

5 结 论

激光原位角膜磨镶手术后,用 7 阶泽尼克多项式表示人眼像差更为合理,并且各阶泽尼克像差对高阶像差的贡献随泽尼克阶数的增大而减小。视物星芒状组和视物雾状模糊组三阶和四阶泽尼克像差的均方根值明显大于无症状的参考组。在明视觉条件下,对称性的泽尼克像差对调制传递函数的影响较大,而在暗视觉条件下,非对称性的泽尼克像差对调制传递函数的影响较大。在暗视觉条件下,视物星芒状组三阶像差的矫正对调制传递函数曲线的提高作用很明显,而视物雾状模糊组的三阶泽尼克像差矫正后,对人眼调制传递函数曲线的提高作用也比较明显。像差的均方根值和调制传递函数曲线是研究术后不良症状的较有效手段。

参 考 文 献

1 Oliver D. Schein, Susan Vitale, Sandra D. Cassard *et al.*. Patient outcomes of refractive surgery the refractive status and vision profile[J]. *J. Cataract Refract Surg.*, 2001, **27**(5):

665~673

- 2 M O'Doherty, M O'Keeffe, C Kelleher. Five year follow up of laser in situ keratomileusis for all levels of myopia[J]. *Bri. J. Ophthalmol.*, 2006, **90**: 20~23
- 3 Maria Regina Chalita, Sai Chavala, Meng Xu *et al.*. Wavefront analysis in post-LASIK eyes and its correlation with visual symptoms, refraction and topography[J]. *Ophthalmol.*, 2004, **111**(3): 447~453
- 4 Marcelo V. Netto, William Dupps Jr, Steven E. Wilson. Wavefront-guided ablation: evidence for efficacy compared to traditional ablation[J]. *Am. J. Ophthalmol.*, 2006, **141**(2): 360~368
- 5 Luca Buzzonetti, Giancarlo Iarossi, Paola Valente *et al.*. Comparison of corneal wavefront aberrations after photorefractive keratectomy and laser in situ keratomileusis[J]. *J. Cataract Refract Surg.*, 2004, **30**(9): 1929~1933
- 6 Peter Mierdel, Maik Kaemmerer, Hans-Eberhard Krinke *et al.*. Effects of photorefractive keratectomy and cataract surgery on ocular optical errors of higher order[J]. *Graefes Arch Clin. Exp. Ophthalmol.*, 1999, **237**(9): 725~729
- 7 Liu Yongji, Fang Zhiliang, Wang Zhaoqi. A study on eye's optical characters with anatomically accurate Shell-lens[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(1): 136~140 (in Chinese)
- 刘永基,方志良,王肇圻. 具有层状晶状体的人眼模型的光学性质[J]. *光学学报*, 2005, **25**(1): 136~140
- 8 Junzhong Liang, David R. Williams. Aberrations and retinal image quality of the normal human eye[J]. *J. Opt. Soc. Am. A*,

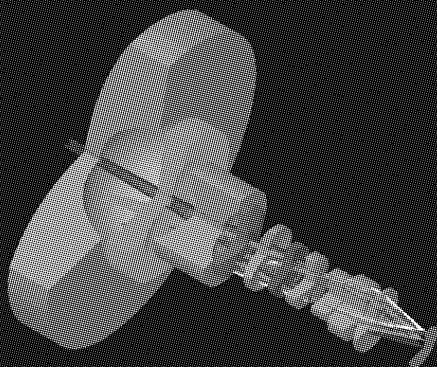
- 1997, **14**(11): 2873~2883
- 9 Hou Jing, Jiang Wenhan, Ling Ning. Ultimate curves of aberration and Strehl ratio[J]. *Acta Optica Sinica*, 2001, **21**(9): 1065~1067
侯 静,姜文汉,凌 宁. 像差与斯特列耳比的极限曲线[J]. *光学学报*, 2001, **21**(9): 1065~1067
- 10 J. C. He, S. Marcos, R. H. Webb *et al.*. Measurement of the wavefront aberrations of the eye by a fast psychophysical procedure[J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1998, **15**(9): 2449~2456
- 11 Larry N. Thibos, Raymond A. Applegate, James T. Schwiegerling *et al.*. Standards for reporting the optical aberrations of eye[J]. *J. Refract Surg.*, 2002, **18**(5): S652~S660
- 12 Duan Haifeng, Yang Zeping, Wang Shuqing *et al.*. Model wavefront reconstruction of Shack-Hartmann sensor on arbitrary area and wavefront expression by Zernike polynomials[J]. *Chin. J. Lasers*, 2002, **29**(6): 517~520 (in Chinese)
段海峰,杨泽平,王淑青等. 夏克-哈特曼传感器任意形状孔径波前的模式重构及 Zernike 多项式描述[J]. *中国激光*, 2002, **29**(6): 517~520

• 广告 •



光研科学有限公司

光学软件权威供应商



ZEMAX[®]

光学设计软件

TFClac[®]

薄膜设计软件

欢迎致电或浏览网页
了解软件订购和课程安排详情

新加坡电话/传真: 65-65643659/65649627
南京电话/传真: 025-57929358/57929359
深圳电话: 0755-27698403

福州电话/传真: 0591-83730680/83721062
北京电话/传真: 010-67126765/67113155
[http:// www.wavelab-sci.com](http://www.wavelab-sci.com)