

近视眼患者眼内高阶像差对角膜高阶像差补偿作用的研究

马代金,朱睿玲,蔡望

基金项目:湖南省科学技术厅科技计划项目(No. 2011FJ4052)
作者单位:(410015)中国湖南省长沙市,长沙爱尔眼科医院
作者简介:马代金,男,博士,副主任医师,研究方向:角膜屈光手术。
通讯作者:马代金. eyemdj@163.com
收稿日期:2013-09-03 修回日期:2013-12-06

Study on the compensation effect of internal higher - order aberrations on corneal higher - order aberrations in myopia

Dai-Jin Ma, Rui-Ling Zhu, Wang Cai

Foundation item: Project of Scientific Research Fund of Hunan Provincial Science and Technology Department(No. 2011FJ4052)
Department of Ophthalmology, Changsha Aier Eye Hospital, Changsha 410015, Hunan Province, China
Correspondence to: Dai-Jin Ma. Department of Ophthalmology, Changsha Aier Eye Hospital, Changsha 410015, Hunan Province, China. eyemdj@163.com
Received:2013-09-03 Accepted:2013-12-06

Abstract

• **AIM:** To investigate the compensation effects of internal higher-order aberrations (HOAs) on the corneal HOAs in youth with low and moderate myopia.
• **METHODS:** Seventy-six myopic patients (152 eyes) who received corneal refractive surgery from April to May in 2012 were included in this study. The HOAs of the anterior corneal surface and the total ocular HOAs (3-6 stage) ocular were measured using OPD Scan ARK-10000. The root mean square values (RMS) of total HOAs, total coma (TC), total trefoil (TT) and total spherical aberration (TS) and Zernike terms of Z_3^{-1} , Z_3^1 , Z_3^{-3} , Z_3^3 , Z_4^0 of a pupil with a diameter of 6mm were recorded to calculate the compensation factor.
• **RESULTS:** The corneal spherical aberration were positive in all eyes, but ocular spherical aberration were negative in 33 eyes (21.7%); The RMS values of corneal TC and Zernike terms of corneal Z_3^{-1} , Z_3^1 were smaller than the ocular aberration. and their CFs were negative; The RMS values of corneal HOAs, TT, TS and Zernike terms of corneal Z_3^{-3} , Z_3^3 , Z_4^0 were higher than the ocular aberration and their CFs were positive.
• **CONCLUSION:** The intraocular HOAs mainly manifest compensation effect on the HOAs of the cornea; The

intraocular spherical aberration compensates for the spherical aberration of cornea, which can reduce the ocular spherical aberration; The effects of intraocular coma and trefoil on corneal higher order aberrations vary widely and show partial compensation, overcompensation and superposition among subjects. The main role of coma is superposition, while that of trefoil mainly manifest as compensation action.

• **KEYWORDS:** intraocular higher order aberration; compensation factor; myopic eye

Citation: Ma DJ, Zhu RL, Cai W. Study on the compensation effect of internal higher-order aberrations on corneal higher-order aberrations in myopia. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2014; 14(1):122-124

摘要

目的:探讨青年中、低度近视眼患者眼内高阶像差对角膜高阶像差的补偿作用。

方法:收集2012-04/05在我院准分子激光中心接受角膜屈光手术的近视眼患者76例152眼,用OPD Scan ARK-10000测量瞳孔直径6mm时角膜前表面和全眼球3~6阶总高阶像差(total higher-order aberrations, HOAs)、总彗差(total coma aberration, TC)、总三叶草(total trefoil aberration, TT)、总球差(total spherical aberration, TS)均方根值(root mean square, RMS)及三阶彗差(Z_3^{-1} , Z_3^1)、三叶草(Z_3^{-3} , Z_3^3)、四阶球差(Z_4^0)的Zernike系数,计算补偿因子(compensation factor, CF)。

结果:角膜球差均为正值,33眼(21.7%)全眼球差为负值;角膜TC均方根值及 Z_3^{-1} , Z_3^1 小于全眼像差,补偿因子为负值;角膜HOAs, TT, TS均方根值及 Z_3^{-3} , Z_3^3 , Z_4^0 均高于全眼像差,补偿因子为正值。

结论:眼内高阶像差对角膜高阶像差主要表现为补偿作用;眼内球差对角膜球差有补偿作用,可降低全眼球差;眼内彗差、三叶草对角膜高阶像差的作用个体差异较大,可表现为部分补偿、过度补偿和叠加,其中彗差以叠加作用为主,三叶草以补偿作用为主。

关键词:眼内高阶像差;补偿因子;近视眼

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2014.01.37

引用:马代金,朱睿玲,蔡望.近视眼患者眼内高阶像差对角膜高阶像差补偿作用的研究.国际眼科杂志2014;14(1):122-124

0 引言

1994年Liang等^[1]利用Hartmann-Shack原理设计了人眼像差仪,第一次将波前像差的概念引入人眼屈光系统

表 1 角膜高阶像差与全眼高阶像差 RMS 值比较 ($\bar{x}\pm s, \mu\text{m}$)

观察项目	HOAs	TC	TT	TS
角膜像差	0.647±0.212	0.280±0.115	0.348±0.194	0.264±0.074
全眼像差	0.420±0.130	0.306±0.183	0.204±0.123	0.128±0.080
<i>t</i>	11.228	1.483	7.729	15.386
<i>P</i>	0.000	0.062	0.000	0.000

表 2 角膜高阶像差与全眼高阶像差 Zernike 系数比较 ($\bar{x}\pm s, \mu\text{m}$)

观察项目	Z_3^{-1}	Z_3^1	Z_3^{-3}	Z_3^3	Z_4^0
角膜像差	-0.115±0.203	0.009±0.179	-0.066±0.296	0.051±0.241	0.263±0.075
全眼像差	-0.147±0.131	0.195±0.114	-0.051±0.184	0.008±0.128	0.085±0.122
<i>t</i>	1.673	10.806	0.531	1.943	15.324
<i>P</i>	0.046	0.000	0.265	0.019	0.000

表 3 眼内高阶像差对角膜高阶像差的补偿因子

观察项目	CF 均值 ($\bar{x}\pm s$)	CF 值范围	CF 值负数 (%)	CF 值 0~1 (%)	CF 大于 1 (%)
Z_3^{-1}	-0.876±6.221	-8.9~65	48.7	31.6	19.7
Z_3^1	-0.816±7.199	-59~26.8	51.8	16.4	31.8
Z_3^{-3}	0.484±9.975	-110.5~29.5	19.7	47.4	32.9
Z_3^3	0.844±3.606	-28.7~13.5	23	35.5	41.4
Z_4^0	0.717±0.517	-0.4~3.2	4	74.3	21.7
HOAs	0.296±0.308	-1.7~1.0	11.2	88.8	0
TC	-0.187±0.817	-3.7~0.9	51.3	48.7	0
TT	0.126±1.029	-8.4~0.9	28.9	71.1	0
TS	0.501±0.327	-1.2~1.0	5.9	94.1	0

的研究,使人们认识到,人眼并非理想的光学系统,除了近视、远视离焦和散光等低阶像差外,还存在球差、彗差等不能用普通光学眼镜矫正的高阶像差。

人眼的像差主要由角膜像差(角膜前表面)和眼内像差(包括角膜后表面、房水、玻璃体和晶状体像差,主要是晶状体像差)组成^[2]。有学者通过测量角膜前表面像差和全眼像差,并由此计算出眼内结构的像差,发现全眼像差的均方根值(root mean square, RMS)值通常小于角膜像差或眼内像差的 RMS 值,说明在角膜像差与晶状体像差两者之间存在着补偿机制^[3-5]。国内很少有文献报道眼内高阶像差的研究,由于不同人种的眼高阶像差有较大差异^[6],我们对 76 例青年低、中度近视眼患者眼内高阶像差对角膜高阶像差的补偿作用进行了研究,以期更好地理解眼的高阶像差,并运用于临床,将结果报告如下。

1 对象和方法

1.1 对象 收集 2012-04/05 在我院准分子激光中心行术前检查的近视眼 76 例 152 眼,其中男 31 例 62 眼,女 45 例 90 眼,年龄 18~38(平均 25.71±4.72)岁。所有患者的球镜≤-6.00D,柱镜≤-1.00D,矫正视力≥1.0,暗视下瞳孔直径≥6mm,常规眼部检查前后节未见异常,角膜透明,排除干眼症,软性角膜接触镜停戴 2wk 以上,未配戴硬性角膜接触镜和塑形镜。

1.2 方法 波前像差检查使用日本 NIDEK 公司生产 OPD Scan ARK-10000。OPD 能同时测量基于动态视网膜检影原理的全眼波前像差和基于 Placido 盘原理的角膜前表面地形图,再通过内置软件将地形图数据转换为角膜波前像差。检查在暗室内进行,不扩瞳,分析区域大于 85%、原

始图像符合要求者为有效,每眼检查 3 次,选取重复性好的一次检查结果。以 6mm 瞳孔范围测量角膜和全眼 3~6 阶总高阶像差(total higher-order aberrations, HOAs)、总彗差(total coma aberration, TC)、总三叶草(total trefoil aberration, TT)、总球差(total spherical aberration, TS)均方根(root mean square, RMS)值及三阶彗差(Z_3^{-1}, Z_3^1)、三叶草(Z_3^{-3}, Z_3^3)、四阶球差(Z_4^0)的 Zernike 系数。

应用 Artal 等^[3]描述的方法计算补偿因子(compensation factor, CF),以评价眼内高阶像差对角膜高阶像差的补偿(中和)作用;CF=1-全眼像差/角膜像差,CF 为正值表示眼内像差对角膜像差有补偿作用(0~1 为部分补偿,等于 1 为完全补偿,大于 1 为过度补偿),CF 为零表示全眼像差与角膜像差相等(眼内像差为零),CF 为负值表示眼内像差对角膜像差有叠加作用。

统计学分析:计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,使用 SPSS 13.0 软件成组设计的两样本均数比较配对 *t* 检验进行数据的统计学分析,以 *P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

角膜 HOAs, TT, TS 的 RMS 值大于全眼像差的 RMS 值,角膜 TC 小于全眼 TC,但两者 TC 比较差异无显著性(表 1);角膜 Z_4^0 都为正值,33 眼的全眼 Z_4^0 为负值,角膜的 Z_3^{-1}, Z_3^1 小于全眼像差,角膜的 Z_3^{-3}, Z_3^3, Z_4^0 大于全眼像差,但两者的 Z_3^{-3} 比较差异无显著性(表 2);眼内高阶像差对角膜高阶像差的补偿因子均值除 TC, Z_3^{-1}, Z_3^1 为负值外,其余都为正值, Z_4^0 的 CF 值波动范围较小,标准差也小,其它像差的 CF 值变异较大(表 3)。从以上数据我们

发现,眼内高阶像与角膜高阶像差的相互作用比较复杂,但主要表现为不同程度的补偿作用。眼内球差对正的角膜球差有补偿作用,可降低全眼球差,33眼(21.7%)甚至过度补偿,出现负的全眼球差,仅6眼(3.9%)表现为叠加作用;眼内彗差、三叶草对角膜高阶像差的作用个体差异较大,可表现为部分补偿、过度补偿和叠加,其中彗差以叠加作用为主,三叶草以补偿作用为主。

3 讨论

人眼是个复杂的光学系统,包括角膜、房水、晶状体和玻璃体四个屈光介质,其中起主要作用的是角膜和晶状体。由于屈光介质解剖位置的不同轴、内含物质不均匀、角膜和晶状体表面曲率的局部偏差等因素的存在,产生高阶像差,影响视觉质量。全眼的高阶像差包括角膜高阶像差(角膜前表面)和眼内高阶像差(包括角膜后表面、房水、晶状体和玻璃体,主要是晶状体)^[1]。随着测量技术的发展,全眼高阶像差由像差仪直接测量,而角膜高阶像差可由角膜地形图分析软件计算得出,用全眼像差与角膜像差直接相减获得眼内像差,并计算补偿因子,从而可以分析角膜高阶像差和眼内高阶像差的相互关系。Artal等^[3]应用角膜地形图仪和 Hartmann-Shack 像差仪测量6例受试者的角膜像差和全眼像差,发现全眼像差的RMS值通常小于角膜像差的RMS值。其进一步将总像差分解后分析,角膜前表面散光和彗差与眼内像差呈显著负相关,因此认为,在角膜像差与晶状体像差两者之间存在着补偿机制。Kelly等^[4]用Topcon Wavefront Analyzer像差仪测量了30例年轻人的角膜和全眼高阶像差,发现眼内像差 Z_4^0 、 Z_3^1 都对角膜像差有补偿作用,但前者的补偿作用比较恒定,后者的个体差异较大。祖培培等^[7]用Schwind波前像差分析仪测量216例近视散光患者右眼的角膜和全眼像差,发现角膜总高阶像差等各项均值均大于或接近全眼均值,说明角膜与眼内像差可能存在补偿或叠加作用。但是,随着年龄的增长,或手术、眼病等因素的影响,这种补偿机制可能被打破^[8-10]。

我们通过对76例152眼低、中度近视眼患者的高阶像差研究发现,眼内高阶像对角膜高阶像差主要表现为不同程度的补偿作用。眼内球差对正的角膜球差有补偿作用,可降低全眼球差,甚至过度补偿,出现负的全眼球差,仅个别患者(3.9%)表现为叠加作用;眼内彗差、三叶草对角膜高阶像差的作用个体差异较大,可表现为部分补偿、过度补偿和叠加,其中彗差以叠加作用为主,三叶草以补偿作用为主,与以上国内外学者的研究结果基本相符,不同的是我们发现彗差(Z_3^{-1} 、 Z_3^1)以叠加作用为主。由于不同的像差仪测量原理虽然不同,但结果基本一致,在Zernike描述和像差重建上有很好的吻合^[11],而眼内彗差对角膜彗差的作用个体差异较大,可表现为不同程度的补偿或叠加,因此我们认为,这种彗差研究结果的差别,可能与不同研究之间病例数差别较大、病例构成不同有关。

由于波前像差理论对各种角膜和眼内屈光手术后出现的视觉质量问题,如眩光、光晕、夜间视力下降等做出了较为合理地解释,因此已成为衡量眼光学系统成像质量的重要指标之一,并在个性化的角膜屈光手术、人工晶状体和角膜接触镜的设计等眼科临床工作中发挥越来越重要的作用^[12,13]。由于角膜后表面、房水、玻璃体等屈光介质对人眼像差的作用十分微小^[14],而且测量的准确性较低^[15],因此在研究中未单独测量,但对研究结果的精确性仍有一定的影响,需要在今后的研究中加以改进。

参考文献

- 1 Liang J, Grimm B, Goetz S, et al. Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wavefront sensor. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 1994;11(7):1949-1957
- 2 Artal P. Understanding aberrations by using double-pass techniques. *J Refract Surg* 2000;16(5):560-562
- 3 Artal P, Guirao A, Berrio E. Compensation of corneal aberrations by the internal optics in the human eye. *J Vis* 2001;1(1):1-8
- 4 Kelly JE, Mihashi T, Howland HC. Compensation of corneal horizontal/vertical astigmatism, lateral coma and spherical aberration by internal optics of the eye. *J Vis* 2004;4(4):262-271
- 5 Gatinel D, Adam PA, Chaabouni S. Comparison of corneal and total ocular aberrations before and after myopic LASIK. *J Refract Surg* 2010;26(5):333-340
- 6 Lim KL, Optom B, Fam HB, et al. Ethnic differences in higher-order aberrations: Spherical aberration in the South East Asian. *J Cataract Refract Surg* 2009;35(12):2144-2148
- 7 祖培培,王雁,王璐,等. 近视眼角膜高阶像差特征及与全眼高阶像差的关系. *中华眼视光学与视觉科学杂志* 2013;15(3):137-141
- 8 Mathur A, Atchison DA, Taberner J. Effect of age on components of peripheral ocular aberrations. *Optom Vis Sci* 2012;89(7):E967-976
- 9 Benito A, Redondo M, Artal P. Laser in situ keratomileusis disrupts the aberration compensation mechanism of the human eye. *Am J Ophthalmol* 2009;147(3):424-431
- 10 Schlegel Z, Lteif Y, Bains HS, et al. Total, corneal and internal ocular optical aberrations in patients with keratoconus. *J Refract Surg* 2009;25(10Suppl):S951-S957
- 11 Moreno-Barriso E, Marcos S, Navarro R, et al. Comparing laser ray tracing, the spatially resolved refractometer and the Hartmann-Shack sensor to measure the ocular wave aberration. *Optom Vis Sci* 2001;78(3):152-156
- 12 Nochez Y, Favard A, Majzoub S, et al. Measurement of corneal aberrations for customisation of intraocular lens asphericity: impact on quality of vision after micro-incision cataract surgery. *Br J Ophthalmol* 2010;94(4):440-444
- 13 Nochez Y, Majzoub S, Pisella PJ. Effect of residual ocular spherical aberration on objective and subjective quality of vision in pseudophakic eyes. *J Cataract Refract Surg* 2011;37(6):1076-1081
- 14 Dubbelman M, Victor ADP. The contribution of the posterior surface to the coma aberration of the human cornea. *J Vis* 2007;7(7):10:1-8
- 15 David PP, Jorge LA, Alicia A. Pentacam posterior and anterior corneal aberrations in normal and keratoconic eyes. *Clin Exp Optom* 2009;92(3):297-303