

# 优良视力正视眼不同对比度下视力与高阶像差的关系

万修华 熊瑛 余翔 薛丽霞 李婧 李树宁 卿国平 凌宁 王宁利

**【摘要】** 目的 分析优良视力正视眼低、中、高对比度视力与高阶像差的关系。方法 描述性研究。选择优良视力正视眼,在流明值为260背景亮度下,测量对比度为100%、25%、10%和5% 4种状态下的视力;同时采集瞳孔直径为3.11 mm和5.96 mm眼高阶像差。分析3.11、5.96 mm瞳孔直径眼高阶像差与不同对比度视力之间的相关性。采用线性回归分析,拟合出回归方程。结果 低对比度状态下视力的个体差异性更大。瞳孔直径为3.11 mm时,高阶像差均方根值(RMS)与不同对比度视力之间存在着线性相关关系(mini  $R^2=0.1129$ )。结论 高阶像差对于对比度视力的影响特点是全频率。

**【关键词】** 高阶像差; 对比度视力; 瞳孔直径

## Relationship between contrast visual acuity and higher-order wavefront aberration in normal human eyes with excellent eyesight

WAN Xiu-hua\*, XIONG Ying, YU Xiang, XUE Li-xia, LI Jing, LI Shu-ning, QING Guo-ping, LING Ning, WANG Ning-li. \* Beijing Ophthalmology and Visual Science Key Laboratory, Beijing Tongren Eye Center, Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University, Beijing Institute of Ophthalmology, Beijing 100730, China

Corresponding author: XIONG Ying, Email: xy0629@sina.com

**【Abstract】 Objective** To study the relationship between the higher-order aberrations and low-, medium-, and high-contrast visual acuity in normal human eyes with excellent eyesight. **Methods** A descriptive study was conducted and normal human eyes with excellent eyesight were selected for this test. With background brightness set at 260 lumens, visual acuities were measured at 4 contrast levels of 100%, 25%, 10% and 5%. At the same time, wavefront aberrations were measured with pupil diameters at 3.11 mm and 5.96 mm. The correlation between contrast visual acuity and wavefront aberration under different pupil sizes was evaluated, and fitted regression equations were determined by using linear regression analysis. **Results** Visual acuity varied more significantly under low contrast levels than under high contrast. When pupil diameter was set at 3.11 mm, there was a linear correlation between the root mean square value (RMS) of higher-order aberrations and contrast visual acuity (mini coefficient of determination  $R^2=0.1129$ ). **Conclusion** Wavefront aberrations impact contrast visual acuity at all contrast levels.

**【Key words】** High-order aberration; Contrast visual acuity; Pupil size

人类在认知周围世界时大约95%的信息来源于视觉。如何提高人眼的视觉质量一直都是视觉科学关注的问题,其中研究人眼视觉的光学缺陷对视觉呈现的生理意义又是热点。

眼波前像差是眼光学系统质量的评估指标。目前已经证实矫正人眼高阶像差确实可以提高人眼的视觉质量<sup>[1]</sup>。同时异常的高阶像差确实影响着人眼的视功能,常见情况包括准分子激光屈光手术以及白内障摘除人工晶状体植入术后,患者虽然可以恢复良好的日间视力(可达到1.0甚至更高),但由于存在医源性高阶像差增大导致视觉质量下降,对比敏感度降低<sup>[2]</sup>,表现为夜间视功能减低,眩光等<sup>[3-5]</sup>。

而人群中眼高阶像差存在着个体差异,同时人群中不同对比度环境下的视力也存在着个体差异,

DOI:10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2013.06.007

基金项目:国家科技部863计划(2006AA02Z4D2);国家自然科学基金(60438030)

作者单位:100730 首都医科大学附属北京同仁医院 北京同仁眼科中心 北京市眼科学与视觉科学重点实验室 北京眼科研究所(万修华、熊瑛、李婧、李树宁、卿国平、王宁利);610209 成都,中国科学院光电技术研究所(余翔、薛丽霞、凌宁)

通信作者:熊瑛,Email:xy0629@sina.com

那么人眼高阶像差的差异是否对不同对比度环境下视功能产生影响?本研究选择人群中远视力达到 1.0 或者以上优良视力的正视眼,探讨生理状态下(排除医源性高阶像差的影响)高阶像差对低、中以及高对比度下视力的影响。

## 1 对象与方法

### 1.1 对象

入选标准:①研究对象年龄为 18~24 岁;②5 m 国际标准视力表测量裸眼视力 1.0 或 1.0 以上;③球镜度 $-0.25\sim+0.50$  D,柱镜度 $-0.25\sim+0.25$  D。排除标准:①患屈光系统、视网膜及视神经疾病者;②屈光手术后以及软性、硬性角膜接触镜,角膜塑形镜配戴者。

共有 81 名志愿者进行了低、中以及高对比度视力和眼高阶像差的评估,其中同时满足以下 2 个条件者入选。①视力评估时在 100 照度的环境亮度下 100%对比度下 logMAR 视力等于或优于 0 (相当于小数视力 1.0 或以上)。②暗室环境中放松状态时,自然瞳孔直径大于 6.0 mm。本研究通过了单位的伦理委员会论证,所有志愿者签署了知情同意书。

符合入选标准者 33 名,男 18 名,女 15 名,平均年龄 $(21.6\pm 1.2)$ 岁。统一选择右眼数据进行分析。

### 1.2 低、中、高对比度视力测试条件

1.2.1 对比度视力测试设计的基本参数 ①视标设计:选择国际标准视力表中“E”字作为视标,其大小与规格应符合 GB11533-89 的规定。logMAR 视力范围在 0.04~2.0。②视标对比度设计标准:本实验视标对比度有 4 种,由高到低分别是 100%、25%、10%和 5%。对比度的计算方法是: $(L_{\max}-L_{\min})/L_{\max}$ ,其中: $L_{\max}$  表示亮度最高值,也就是背景亮度, $L_{\min}$  表示亮度最低值,也就是屏幕显示的“E”字的亮度。③背景亮度:视标出现时背景亮度流明值为 260,最大误差范围不超过 5%。④视标显示条件:视标通过计算机控制并在液晶显示器上显示。显示器要求对比度为 500:1,显示颜色为 16.2 百万以上,亮度 $\geq 250$  cd/m<sup>2</sup>,屏幕尺寸为 17 寸。⑤视标显示时间:5 s。

1.2.2 测试过程 ①测试模式:预评估裸眼视力之后,选择合适的视力水平,作为测试起始,开始测量。测试选择心理物理学测试模式。②亮环境视力的测量:要求测试环境的照度在 100 照度,计算机背景亮度选择亮背景(高对比亮度流明值 260)测试程序,从 100%开始依次完成 25%、10%、5%对比度视力的测量。③测试过程:被检者观察屏幕出现的“E”字方

向,测试者将其观察结果输入计算机,通过与心理物理学测试模式比较给出最终结果,结果显示为 logMAR 视力。

### 1.3 高阶像差测量

被检者下颌放在颌托上,额部紧贴额带,测试者在瞳孔成像对准的协助下,完成瞳孔中心对准,嘱被检者通过哈特曼传感器目镜注视目标。调整瞳孔对准程序为测量主程序,微调瞳孔平面位于采集平面中心,采集点聚焦清晰,点击采集按钮完成一次采集。控制泪膜对波前像差的影响,采集数据之前嘱被检者眨眼 1 次,采集过程在眨眼后 1~2 s 内完成。1 次测量完毕,嘱被检者闭眼休息,等待继续测量。本研究采用的哈特曼波前像差探测仪由合作单位中国科学院光电技术研究所研制,模拟眼测量变异系数接近为 0,具有很好的重复性和准确性<sup>[9]</sup>。

波前像差的测量安排于对比度视力测试结束后(被检者远眺 15 min,在放松状态下),选择重复测量程序,每秒 5 帧,共 20 帧。本实验波前像差测试在暗室中自然瞳孔状态下进行。

### 1.4 评估指标

①亮环境下 100%、25%、10%、5%对比度视力;② 3.11 mm 瞳孔直径下眼高阶像差均方根值(higher-order aberration root mean square, hRMS),以及第 3~7 阶分阶像差均方根值( $J_3\sim J_7$ RMS);③ 5.96 mm 瞳孔直径下眼 hRMS,以及  $J_3\sim J_7$ RMS;④ 3.11 mm 瞳孔直径下 hRMS 占 5.96 mm 瞳孔直径下 hRMS 的百分比。

### 1.5 统计学方法

描述性研究。使用 SPSS 11.0 统计软件,采用线性回归分析方式,分析高阶像差与对比视力的相关性,并拟合出回归方程。以  $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 对比度视力情况

33 名被检者 5%、10%、25%和 100% 4 种对比度 logMAR 视力见表 1。

表 1 5%、10%、25%及 100% 4 种对比度下 logMAR 视力

对比度 logMAR 视力	例数	最小值~最大值	$\bar{x}\pm s$
5%	33	0.188~0.788	0.440±0.155
10%	33	0.012~0.788	0.189±0.115
25%	33	-0.2~-0.175	-0.011±0.088
100%	33	-0.3~-0.012	-0.156±0.079

### 2.2 高阶像差以及各分阶像差 RMS 值

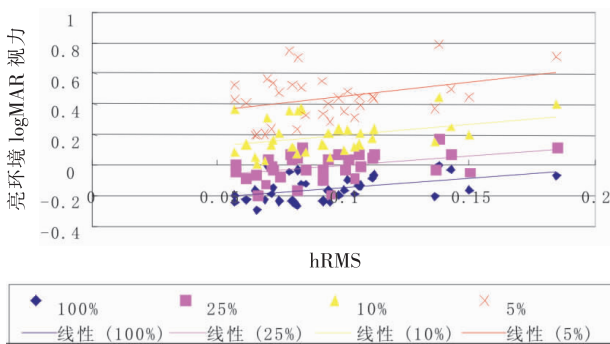
33 名被检者 3.11 mm、5.96 mm 瞳孔直径下 hRMS 以及  $J_3\sim J_7$ RMS 见表 2。

**表 2** 被检者在 3.11 mm 和 5.96 mm 瞳孔直径下高阶像差均方根值(hRMS)和第 3~7 阶分阶像差均方根值(J<sub>3</sub>~J<sub>7</sub>RMS)(μm,  $\bar{x} \pm s$ )

瞳孔直径	例数	hRMS	J <sub>3</sub> RMS	J <sub>4</sub> RMS	J <sub>5</sub> RMS	J <sub>6</sub> RMS	J <sub>7</sub> RMS
3.11 mm	33	0.0945±0.0294	0.0647±0.0238	0.0462±0.0170	0.0331±0.0108	0.0226±0.0077	0.0208±0.0061
5.96 mm	33	0.3192±0.1043	0.2360±0.0915	0.1803±0.0814	0.0675±0.0369	0.0449±0.0160	0.0317±0.0132

**2.3 3.11 mm 瞳孔直径下 hRMS 与对比度视力的相关性**

3.11 mm 瞳孔直径下 hRMS 值与对比度视力存在线性相关,且与 5%、10%、25%以及 100%拟合的回归方程分别为  $\hat{Y}_{5\%}=1.7954X+0.2701$  ( $R^2=0.1156$ ),  $\hat{Y}_{10\%}=1.4214X+0.0546$  ( $R^2=0.1314$ ),  $\hat{Y}_{25\%}=1.241X-0.1287$  ( $R^2=0.1704$ ) 和  $\hat{Y}_{100\%}=1.1525X-0.2646$  ( $R^2=0.1825$ )。见图 1。

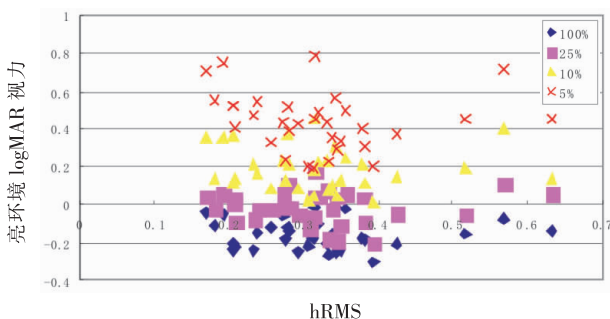


hRMS 与 10%、25%以及 100%对比度视力具有相关性

**图 1** 3.11 mm 瞳孔直径高阶像差均方根值(hRMS)与对比度视力的散点图

**2.4 5.96 mm 瞳孔直径 hRMS 与对比度视力的相关性**

5.96 mm 瞳孔直径 hRMS 与对比度视力不存在相关性(见图 2)。

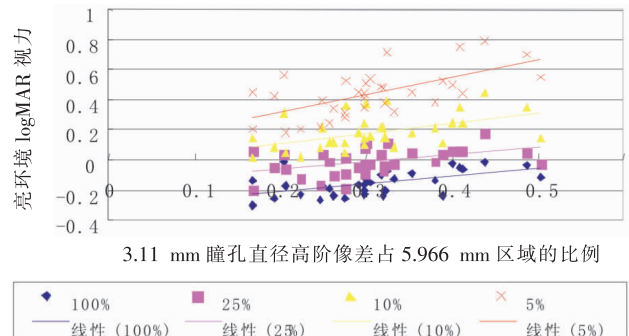


hRMS 与对比度视力没有相关性

**图 2** 5.96 mm 瞳孔直径下高阶像差均方根值(hRMS)与不同对比度视力的散点图

**2.5 高阶像差与对比度视力的综合评估**

3.11 mm 瞳孔直径 hRMS 占 5.96 mm 瞳孔直径 hRMS 的比例与对比度视力存在线性相关(见图 3),且与 5%、10%、25%以及 100%拟合的回归方程分别



相关分析具有正相关性(mini  $R^2=0.2176$ )

**图 3** 3.11 mm 瞳孔直径高阶像差均方根值(hRMS)占 5.96 mm 瞳孔直径区域比例与对比度视力

为  $\hat{Y}_{5\%}=1.1367X+0.0888$  ( $R^2=0.3841$ ),  $\hat{Y}_{10\%}=0.6564X-0.0102$  ( $R^2=0.2254$ ),  $\hat{Y}_{25\%}=0.4869X-0.1618$  ( $R^2=0.2176$ ) 以及  $\hat{Y}_{100\%}=0.5294X-0.3192$  ( $R^2=0.3193$ )。

**3 讨论**

人眼最重要的功能就是视觉呈现,能够在不同环境亮度下对不同对比度的物体进行分辨并在视觉中枢形成影像。在视觉呈现中有 2 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分辨力。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。在人眼视觉呈现过程中总是针对特定对比度存在特定空间频率。那么由空间频率和对比度 2 个参数可以形成人眼分辨外界物体的范围,也可认为是人眼有效视觉呈现的阈值。该阈值是在不同对比度下能够达到的空间频率的总体评估。但是对比度存在无限延展性,为了有代表性地反映人眼的视功能,本研究在实验需要的基础上由高到低选择 100%、25%、10%以及 5% 4 种对比度来评估在不同对比度下人眼能够达到的空间频率。

本组 33 名被检者,亮环境下 100% 对比 logMAR 视力最高-0.3,最低-0.012,平均-0.156,波动范围在 3 行内,相应的小数视力在 1.0 以上。在同样的环境亮度下,降低了视标的对比度,本组对象的低对比度(5%)logMAR 视力最高为 0.188~0.788,平均为 0.440,波动范围为 6 行。也就是在低对比度的状态下,视力有更大的个体差异。

波前像差描述了人眼屈光系统的光学缺陷,其中高阶像差描述的则是人眼屈光系统中存在的复杂



的光学缺陷。高阶像差与对比度视力类似,也存在着普遍的个体差异。本研究选择的被检者具有独特的代表性,即青年人并且裸眼视力在 1.0~2.0 之间,是人群中优良视力的代表者。选择这部分人群的目的就是为了排除低阶像差(包括近视、远视和散光)的影响,还排除了随着年龄增大晶状体老化引起的高阶像差的影响。

本研究的结果显示在这部分优良视力的人群中其生理性高阶像差的存在对于对比度视力还是存在着影响。但是这种生理性的高阶像差对于对比度视力的影响体现在其在瞳孔中央区域的表现,当瞳孔直径为 3.11 mm 时,也就是瞳孔直径比较小的时候,具有全频谱的特点。也就是说波前像差将会导致对比度视力从高对比状态到低对比状态全线降低,不是选择性干扰。

另外,本组被检者在瞳孔直径为 5.96 mm 时,高阶像差与对比度视力没有相关性(也具有全频谱特点)。分析原因如下:首先,对比度视力是在亮环境下进行测量,瞳孔直径自然缩小,并且在分辨视标时瞳孔直径也会相应随之缩小,以期获得最佳视力。因此 5.96 mm 瞳孔直径可能与对比度视力测量时的瞳孔状态不匹配,那么 5.96 mm 体现的高阶像差就不能很好地说明本组被检者在测量对比度视力时的瞳孔区光学特质。其次,同样优良的高对比度视力(100%)被检者在低对比度视力出现了比较大离散,

而临床中也观察到一些视神经疾患例如青光眼<sup>[1]</sup>等,会率先影响低对比度视力,也许眼屈光系统的成像质量并不是对比度视力的唯一因素,神经系统也可能在其形成过程中产生影响。

综上所述,优良视力正视眼生理状态下的高阶像差对于对比度视力存在影响,其特点是全频谱的。

#### 参考文献:

- [1] Liang J, Williams DR, Miller DT. Supernormal vision and high-resolution retinal imaging through adaptive optics. *J Opt Soc Am*, 1997, 14:2884-2892.
- [2] Keir NJ, Simpson T, Jones LW, et al. Wavefront-guided LASIK for myopia: effect on visual acuity, contrast sensitivity, and higher order aberrations. *J Refract Surg*, 2009, 25:524-533.
- [3] Barreto J Jr, Barboni MT, Feitosa-Santana C, et al. Intraocular straylight and contrast sensitivity after contralateral wavefront-guided LASIK and wavefront-guided PRK for myopia. *J Refract Surg*, 2010, 26:588-593.
- [4] Lee HK, Choe CM, Ma KT, et al. Measurement of contrast sensitivity and glare under mesopic and photopic conditions following wavefront-guided and conventional LASIK surgery. *J Refract Surg*, 2006, 22:647-655.
- [5] Kim TW, Wee WR, Lee JH, et al. Contrast sensitivity after LASIK, LASEK, and wavefront-guided LASEK with the VISX S4 laser. *J Refract Surg*, 2007, 23:355-361.
- [6] 熊瑛,万修华,余翔,等. 模拟生理条件下人眼高阶像差的波动. *眼科*, 2011, 20:387-390.
- [7] Hawkins AS, Szlyk JP, Ardickas Z. Comparison of contrast sensitivity, visual acuity, and Humphrey visual field testing in patients with glaucoma. *J Glaucoma*, 2003, 12:134-138.

(收稿日期:2013-02-18)

(本文编辑:毛文明,季魏红)

## ·消息·

### 第 51 届国际临床视觉电生理学会 (ISCEV) 年会暨第 13 届全国视觉生理大会征文通知

第 51 届国际临床视觉电生理学会(International Society for Clinical Electrophysiology of Vision, ISCEV)年会暨第 13 届全国视觉生理大会将于 2013 年 10 月在美丽的山城重庆召开。首先,第 51 届国际临床视觉电生理学会年会于 2013 年 10 月 12 日至 10 月 17 日在重庆喜来登大酒店召开,这是国际临床视觉电生理学会年会时隔 23 年后再次在中国举办,预计有来自世界数十个国家的代表参会,国内外顶尖眼科专家和视觉电生理学专家将进行精彩的学术演讲。同时,第 13 届全国视觉生理大会将于 2013 年 10 月 11 日至 10 月 13 日在重庆滨江皇冠假日酒店召开,会议由中华医学会眼科学分会主办,第三军医大学西南眼科医院承办,是国内眼科学临床视觉电生理学界的盛会,参会者可获国家级 I 类教育学分 8 分。

这次大会的交流形式有继续教育、专题演讲和自由论文。内容包括各种眼病的视功能检测、视觉科学研究进展、视网膜变性疾病与干细胞治疗策略、基因诊断和治疗在眼科学的应用、视觉电生理基础研究及临床应用、视觉电生理继续教育课程等。大会将邀请多位国内外著名的眼科学专家和视觉科学专家前来作专题讲座,将展示眼科学、视觉科学和视觉电生理学的最新进展、最新技术及最新成果。同时还将开办精彩的继教课程,由国内外知名的视觉电生理专家授课和指导操作,将为广大从事眼科学及视觉电生理学工作的专家和青年学者搭建一个不断创新的交流平台和进步学习的良好契机。

征文要求:投 ISCEV 年会请通过网站 <http://www.iscev.org/symposia/2013/index.html> 在线投稿,截稿日期 2013 年 6 月 30 日。投全国视觉生理大会者请将 800 字以内的中文摘要寄到 [ccrvo2011@163.com](mailto:ccrvo2011@163.com),注明作者姓名、工作单位、通信地址、邮编、联系电话及 Email,截稿日期 2013 年 7 月 31 日。

大会秘书处:[ccrvo2011@163.com](mailto:ccrvo2011@163.com),电话:023-68765389,网址:<http://www.iscev2013.org/>。

中华医学会眼科学分会视觉生理学组