

# 弱视患者自适应光学系统矫正高阶像差前后 视觉行为变化的研究\*

李 谦, 杨旭波, 刘陇黔<sup>△</sup>

四川大学华西医院 眼科(成都 610041)

**【摘要】** 目的 探讨单眼弱视眼通过自适应光学系统矫正高阶像差(higher order aberrations, HOAs)前后视觉行为的变化。方法 分别测量 10 名单眼弱视患者通过自适应光学系统矫正弱视眼高阶像差前后的视力(visual acuity, VA)及对比敏感度(contrast sensitivity, CS)阈值,并分析视力和对比敏感度阈值的变化。结果 弱视眼矫正高阶像差后视力提高( $P=0.005$ );弱视眼矫正高阶像差后对比敏感度阈值降低( $P<0.001$ ),这一进步主要发生于 24 cpd 的空间频率(spatial frequency, SF)上( $P=0.018$ )。结论 弱视眼在矫正高阶像差后视觉功能提升,高阶像差的存在对弱视患者高空间频率上对比敏感度功能的下降具有一定的作用。

**【关键词】** 弱视 高阶像差 对比敏感度 自适应光学

## Visual Performance of Amblyopia before and after Correcting Higher Order Aberrations with Adaptive Optics System

LI Qian, YANG Xu-bo, LIU Long-qian<sup>△</sup>. Department of Ophthalmology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China

<sup>△</sup> Corresponding author, E-mail: b.q15651@hotmail.com

**【Abstract】 Objective** To investigate visual performance of monocular amblyopia before and after correcting higher order aberrations (HOAs) with adaptive optics system. **Methods** Visual acuity (VA) and contrast sensitivity (CS) thresholds of ten monocular amblyopes were measured before and after correcting higher order aberrations with adaptive optics system. The change of them were analyzed. **Results** A significant improvement of 0.16 times on average ( $P=0.005$ ) visual acuity of the amblyopic eyes and 0.34 times on average ( $P<0.001$ ) CS thresholds, mainly improved at 24 cpd were observed. **Conclusion** The visual performance of amblyopic eyes can be improved after correcting higher order aberrations, and HOAs affect CS at some high spatial frequency.

**【Key words】** Amblyopia Higher order aberrations Contrast sensitivity Adaptive optics

弱视是一种较为常见的儿童眼病,其发生是出生后早期受到某些因素(如未矫正的屈光不正、屈光参差、斜视、形觉剥夺等)的影响,致使视网膜成像质量下降,视觉细胞无法得到有效刺激,抑制了正常视觉通路的形成<sup>[1]</sup>,从而导致弱视眼视力下降、调节滞后、对比敏感度及深度感知功能受损。高阶像差可导致视网膜成像质量下降,且不能通过普通光学手段矫正。已有大量研究关注正常受试者的高阶像差<sup>[2-4]</sup>,但却少有报道弱视眼的高阶像差。一部分研究认为,弱视的发生主要源于神经性因素而非高阶像差<sup>[5,6]</sup>;而另一部分研究认为弱视眼高阶像差与正常人眼及健侧眼存在差异<sup>[7-9]</sup>。因此,对于弱视眼的高阶像差,目前尚未有一致的结论。

自适应光学,是一种能够测量及矫正光学像差的光学技术。自适应光学系统一方面通过其内部的

波前传感器实现波前畸变的实时测量、计算像差,完成波前探测任务;另一方面又通过一系列微小压电传动装置实时调控系统内部变形镜的形状产生相应的像以达到矫正像差的目的。虽然自适应光学系统因为能够快速、准确的矫正高阶像差而广泛应用于正常人眼的研究<sup>[2-4]</sup>,可是目前却并未发现关于该系统矫正弱视眼高阶像差的相关报道。

基于以上的研究现状,本研究的目的在于通过自适应光学系统矫正单眼弱视患者弱视眼的高阶像差,对比其前后视觉行为的变化,研究矫正高阶像差对于弱视患者的视觉贡献,以进一步探讨高阶像差在弱视中的作用。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

招募 2012 年 8 月至 2013 年 1 月在四川大学华西医院眼科斜弱视门诊就诊的单眼弱视患者,在受试者本人或者父母知情同意的原则下,共 10 人 10

\* 四川省科技支撑计划(No. 2010SZ0087)资助

<sup>△</sup> 通讯作者, E-mail: b.q15651@hotmail.com

只弱视眼作为研究对象。所有受试者均经过验光,并排除了上睑下垂、斜视、白内障、青光眼及眼底病变。受试者年龄为 14~28 岁,平均年龄为(17.4±5.40)岁,其中男 3 例,女 7 例。10 名受试者弱视眼最佳矫正视力均<0.8,其对侧眼最佳矫正视力均>0.8。

## 1.2 实验设备

本实验全过程均在中科院成都光电技术研究所自适应光学重点研究实验室研制的人眼自适应光学系统上完成。视力的测量使用自适应光学系统内 FrACT 视力测试软件。对比敏感度阈值,即对比敏感度的倒数,其测量是通过 Matlab7.0 中的 Psychtoolbox 工具包实现视觉刺激的呈现及测量程序的运行,视觉刺激为正弦条栅,任务方式为阶梯法强制二选一任务,正弦条栅在 8 个空间频率(0.6, 1, 2, 4, 8, 16, 24, 32 cpd)上随机出现。

## 1.3 检查方法

测量开始前,受试者在暗室环境中适应 5 min 后嘱受试者将头部的下巴与额头紧贴于颌托及额托。遮盖健眼,以矫正了离焦、散光等低阶像差之后的弱视眼注视自适应光学系统显示屏中的十字注视视标,通过移动固定头部的支架微调系统,获取最佳注视位置。在同一暗室环境下,测量受试者弱视眼的视力及对比敏感度阈值。视力的测量遵照随机原则分别测量受试者在矫正及未矫正高阶像差状态下的 100%对比度视力,结果采用国际上通用的最小可分辨角表示,后换算为小数视力,每只受试眼视力测量 3 次后取平均值;对比敏感度阈值的测量,受试者需判断在连续的 2 次时间间隔内,正弦光栅随机出现在哪次时间间隔,并通过手持键盘按键选择反馈判断结果,矫正与非矫正测试的先后顺序遵循随机的原则。两种状态下的测试分 8 d 进行,每 4 d 测试一种,每天测试时间约为 1 h。本试验程序通过四川大学伦理委员会批准。

## 1.4 统计学方法

本实验所有实验程序步骤的控制及数据的获得均通过 MATLAB 软件完成。对单眼弱视患者的弱视眼在矫正高阶像差前后的视力、各空间频率上的对比敏感度阈值进行统计分析。视力及对比敏感度阈值在矫正前后的比较采用配对  $t$  检验, $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 矫正高阶像差前后视力的比较

表 1 为 10 名受试者弱视眼矫正高阶像差前后的视力。在矫正高阶像差前后,10 名受试者弱视眼视力分别提升了 0.19、0.31、0.27、0.09、0.12、0.05、0.11、0.12、0.12、0.19 倍,平均提升了 0.16 倍,且此种进步的差异有统计学意义( $t=-3.737$ ,  $P=0.005$ )。

表 1 弱视眼在矫正高阶像差前和矫正后的视力( $\bar{x}\pm s$ )

Table 1 VA of the amblyopic eyes before and after correction of HOAs ( $\bar{x}\pm s$ )

Subject	VA without correction	VA with correction	$t$	$P$
S1	0.630 0±0.010 0	0.783 3±0.028 9	-12.758	0.006
S2	0.593 3±0.020 8	0.773 3±0.037 9	-18.000	0.003
S3	0.443 3±0.025 2	0.560 0±0.020 0	-35.000	0.001
S4	0.226 7±0.015 3	0.253 3±0.025 2	-4.000	0.057
S5	0.256 7±0.020 8	0.290 0±0.010 0	-5.000	0.038
S6	0.553 3±0.025 2	0.583 3±0.015 3	-5.196	0.035
S7	0.270 0±0.020 0	0.300 0±0.026 5	-5.196	0.035
S8	0.263 3±0.011 6	0.293 3±0.005 8	-5.196	0.035
S9	0.253 3±0.015 3	0.276 7±0.020 8	-7.000	0.020
S10	0.706 7±0.020 8	0.826 7±0.023 1	-12.000	0.007

### 2.2 矫正高阶像差前后平均对比敏感度阈值的比较

表 2 为 10 名受试者弱视眼矫正高阶像差前后的平均对比敏感度阈值,结果发现 10 名受试者在矫正高阶像差后平均对比敏感度阈值较矫正前均降低。矫正高阶像差后所有受试者的对比敏感度阈值均低于矫正前,即矫正高阶像差后所有受试者的对比敏感度均高于矫正前。10 名受试者矫正前平均对比敏感度阈值为(0.258 1±0.140 9),矫正后为(0.175 8±0.117 4),差异有统计学意义( $t=5.710$ ,  $P<0.001$ )。

表 2 弱视眼在矫正高阶像差前和高阶像差矫正后的对比敏感度阈值( $\bar{x}\pm s$ )

Table 2 CS thresholds of amblyopic eyes before and after correction of HOAs ( $\bar{x}\pm s$ )

Subject	CS thresholds without correction	CS thresholds with correction	$t$	$P$
S1	0.111 9±0.164 4	0.077 2±0.119 4	2.433	0.021
S2	0.155 2±0.211 2	0.135 6±0.200 2	2.045	0.049
S3	0.245 7±0.253 0	0.136 6±0.206 3	4.041	0.000
S4	0.198 0±0.248 8	0.122 9±0.165 2	1.538	0.134
S5	0.231 1±0.233 2	0.130 3±0.193 6	3.918	0.000
S6	0.133 3±0.191 6	0.061 5±0.076 9	3.192	0.003
S7	0.383 0±0.050 2	0.204 0±0.021 4	3.456	0.002
S8	0.422 4±0.074 1	0.356 9±0.034 1	2.121	0.042
S9	0.191 8±0.050 3	0.119 4±0.021 4	3.830	0.001
S10	0.535 7±0.050 3	0.413 5±0.021 4	2.476	0.019

### 2.3 矫正高阶像差前后在不同空间频率上对比敏感度阈值的比较

表 3 为矫正高阶像差前后 10 名受试者在各空间频率上的平均对比敏感度阈值,结果发现 10 名受试者经光学矫正后在各个空间频率上平均对比敏感

度阈值均降低,但只有在 24 cpd 的空间频率上,此种差异才有统计学意义( $P=0.018$ )。

表 3 不同空间频率下矫正前后对比敏感度阈值( $\bar{x}\pm s$ )

Table 3 CS thresholds at different spatial frequencies with and without correction ( $\bar{x}\pm s$ )

SF (cpd)	CS thresholds without correction	CS thresholds with correction	$t$	$P$
0.6	0.064 5±0.190 5	0.038 8±0.009 6	3.461	0.18
1	0.044 2±0.010 1	0.050 9±0.051 2	-0.322	0.76
2	0.027 1±0.008 5	0.019 7±0.007 5	2.381	0.063
4	0.033 4±0.030 0	0.044 5±0.073 9	-0.325	0.758
8	0.060 0±0.044 0	0.025 7±0.013 5	1.708	0.148
16	0.216 7±0.127 0	0.122 1±0.087 8	1.572	0.177
24	0.423 3±0.165 0	0.163 2±0.091 8	3.484	0.018
36	0.563 3±0.106 7	0.420 6±0.208 5	1.876	0.12

SF: Spatial frequency; cpd: Circle per degree

### 3 讨论

本研究通过自适应光学系统矫正单眼弱视患者弱视眼的高阶像差,对比前后视觉行为的变化,以进一步探讨高阶像差及其矫正对弱视患者视觉质量的影响,同时也为临床上弱视的治疗提供新的思路。

我们的研究表明,通过自适应光学系统矫正高阶像差,受试者的对比敏感度和视力均有所进步,而视力的进步程度要低于对比敏感度。矫正高阶像差后受试者的对比敏感度及视力均有所提高,其原因可能归结于自适应光学系统矫正高阶像差后视网膜成像质量的提升。然而视力的进步程度要低于对比敏感度的进步程度,这与 Yoon 等<sup>[10]</sup>曾进行的对正常人眼研究的结果相一致,他们认为可能的原因一方面在于在高空间频率处,对比敏感度曲线较为陡峭,对比度坐标轴上的较大变化也只能引起空间频率坐标轴上的小幅侧向移动;另一方面的原因在于进行视力测试及对比敏感度测试的测试任务有所不同。

已有的研究认为:各类型弱视均会表现出对比敏感度功能的受损,尤其是高空间频率上对比敏感度的受损<sup>[11]</sup>。本研究中,弱视眼矫正高阶像差后,对比敏感度除了在空间频率为 24 cpd 上有所进步以外,其它各空间频率上对比敏感度阈值在矫正前后的差异均没有统计学意义。这表明弱视眼高阶像差的存在所致的视网膜成像质量下降对弱视患者对比敏感度功能的下降具有一定的影响,在矫正高阶像差后,视觉功能在部分高空间频率得以提升。对于未发生进步的高空间频率,其原因可能在于弱视患者视觉神经系统的对比敏感度感知功能在不同高空间频率上有不同程度的缺损,导致其在视网膜成

像质量有所提高之后,视功能的进步仍不能突破视觉神经系统功能缺陷的限制。综上所述我们认为,弱视患者高空间频率上的视觉功能的缺陷,除受到视觉神经系统这一因素的影响外,高阶像差也对其有一定的影响。

与传统的配镜等手段只能矫正低阶像差相比,本研究运用自适应光学系统成功实现弱视眼高阶像差的矫正,揭示高阶像差在弱视中的作用,其结果也为弱视的治疗提供一个新思路:能否运用自适应光学系统实现在矫正高阶像差的基础上对弱视患者进行视觉训练?这一方法与传统的单纯矫正低阶像差后进行视觉训练相比,有何优势?这些问题都有待后续的进一步研究。此外,本试验作为矫正高阶像差后弱视患者视觉行为变化的初步探索,研究例数偏少,也需在后续的工作中扩大样本量进行更深入的研究。

### 参 考 文 献

- Vincent SJ, Collins MJ, Read SA, *et al.* Monocular amblyopia and higher order aberrations. *Vision Res*,2012;66:39-48.
- Zhang N, Yang XB, Liu LQ, *et al.* Relationship between higher-order aberrations and myopia progression in school children: a retrospective study. *Int J Ophthalmol*,2013;6(3):295-299.
- Sawides L, Gamba E, Pascual D, *et al.* Visual performance with real-life tasks under adaptive-optics ocular aberration correction. *J Vis*,2010;10(5):19. doi: 10.1167/10.5.19.
- De Gracia P, Marcos S, Mathur A, *et al.* Contrast sensitivity benefit of adaptive optics correction of ocular aberrations. *J Vis*,2011,11(12):pii: 5. doi: 10.1167/11.12.5.
- Dominguez-Vicent A, Pérez-Vives C, Ferrer-Blasco T, *et al.* The effect of simulated normal and amblyopic higher-order aberrations on visual performance. *J AAPOS*,2013,17(3):269-275.
- 邱 煦, 谭 琦, 廖 孟等. 高阶像差在远视儿童屈光参差性弱视中的评价. *生物医学工程学杂志*,2012;28(6):1117-1120.
- 于凤娟, 宋海燕, 刘陇黔等. 高阶像差在屈光性弱视中的评价分析. *四川大学学报(医学版)*,2009;40(2):311-313.
- Zhao P, Zhou Y, Wang N, *et al.* Study of the wavefront aberrations in children with amblyopia. *Chin Med J*,2010;123(11):1431-1435.
- Prakash G, Sharma N, Saxena R, *et al.* Comparison of higher order aberration profiles between normal and amblyopic eyes in children with idiopathic amblyopia. *Acta Ophthalmol*,2011;89(3):e257-e262.
- Yoon GY, Williams DR. Visual performance after correcting the monochromatic and chromatic aberrations of the eye. *JOSA A*,2002;19(2):266-275.
- 龚静文, 孙朝晖, 王丽萍等. 斜视性和屈光参差性弱视患者视觉缺损模式的研究. *中华眼科杂志*,2013;49(7):615-620.

(2013-10-20 收稿,2014-02-20 修回)

编辑 吕 熙