

儿童远视合并弱视眼的高阶像差与视觉质量的关系

李 昂¹, 曾 军²

作者单位:¹(410005)中国湖南省长沙市,湖南省人民医院眼科;²(410007)中国湖南省长沙市,中南大学湘雅医学院附属第二医院眼科

作者简介:李昂,女,硕士研究生,副主任医师,研究方向:眼底病。
通讯作者:曾军,女,博士研究生,主任医师,研究方向:眼底病。
taijie69910@163.com

收稿日期:2010-02-21 修回日期:2010-04-27

Relationship between the higher order aberrations and the diopter as well as contrast sensitivity in children with hyperopic amblyopia

Ang Li¹, Jun Zeng²

¹Department of Ophthalmology, Hunan Provincial People's Hospital, Changsha 410005, Hunan Province, China; ²Department of Ophthalmology, the Second Affiliated Hospital of Xiangya School of Medicine, Central South University, Changsha 410007, Hunan Province, China

Correspondence to: Jun Zeng. Department of Ophthalmology, the Second Affiliated Hospital of Xiangya School of Medicine, Central South University, Changsha 410007, Hunan Province, China. taijie69910@163.com

Received:2010-02-21 Accepted:2010-04-27

Abstract

• **AIM:** To investigate the relationship between the higher order aberrations and the diopter as well as contrast sensitivity in children with hyperopic amblyopia.

• **METHODS:** Sixty-six cases of children with hyperopic amblyopia were dilated the pupils with atropine for seven days and a retinoscopy was executed for everyone. The wavefront analyzer was also used in the study; When the pupils regained the normal diameter 20 days later, the contrast sensitivity was measured by the CSV-1000 in a dark room.

• **RESULTS:** The mean refractive states of the children were $+2.60 \pm 1.76D$ (hyperopic diopter) and $+1.15 \pm 0.98D$ (astigmatic diopter) with an axis of 82.83 ± 27.93 by barred retinoscopy. While recorded by the wavefront aberrations they were $+2.76 \pm 1.69D$ and $+1.35 \pm 1.02D$ respectively with an axis of $85.37 \pm 30.72D$. With the increase of the hyperopic diopter, the aberrations at all levels increased. The differences of RMS1, RMS5 and RMSH in the middle and low amblyopic group was as significant as the differences of RMS2, RMSg and C12 in the middle and low hyperopic group ($P < 0.01$). The contrast sensitivity of the children decreased at all frequencies, especially at high frequency. The C8 and C12 at higher order aberrations had significant correlation with the contrast sensitivity at higher frequency.

• **CONCLUSION:** The wavefront aberrations and contrast sensitivity can correctly evaluate refractive degree and visual quality in children with hyperopia and could be used as an objective measure. At the same time, they are useful in investigating the cause of amblyopia and effect of the therapy.

• **KEYWORDS:** hyperopia; amblyopia; wavefront aberration; contrast sensitivity; refraction

Li A, Zeng J. Relationship between the higher order aberrations and the diopter as well as contrast sensitivity in children with hyperopic amblyopia. *Int J Ophthalmol (Guoji Yanke Zazhi)* 2010; 10(5): 880-884

摘要

目的:探索儿童远视弱视眼的高阶像差与屈光度及对比敏感度的关系。

方法:66例远视弱视患儿经10g/L阿托品散瞳7d后进行检影并使用Allegretto波前像差仪进行像差测定;20d待瞳孔完全恢复后在完全矫正屈光不正情况下用CSV-1000对比敏感度灯测试其暗室对比敏感度。

结果:带状检影球镜度为 $+2.60 \pm 1.76D$,柱镜度为 $+1.15 \pm 0.98D$,散光轴为 82.83 ± 27.93 。而波前像差测得的值分别为 $+2.76 \pm 1.69D$, $+1.35 \pm 1.02D$, $85.37 \pm 30.72D$ 。随着球镜值增大,各阶像差值亦增大。中、低度弱视组两两比较,RMS1,RMS5,RMSH 差异有显著性($P < 0.01$),中低度远视组两两比较 RMS2,RMSg 及 C12 差异有显著性($P < 0.01$)。弱视患儿全频段对比敏感度均下降,尤其高频区下降显著,高阶像差中 C8 及 C12 与高频段对比敏感度有相关性。

结论:波前像差检查及对比敏感度检查均能较正确,全面地反映弱视儿童眼的屈光度及视觉质量,可作为远视、弱视儿童屈光检查的一种客观手段。有助于了解儿童弱视的原因及追踪观察其治疗的转归。

关键词:远视;弱视;波前像差;对比敏感度;屈光

DOI:10.3969/j.issn.1672-5123.2010.05.019

李昂,曾军.儿童远视合并弱视眼的高阶像差与视觉质量的关系.国际眼科杂志2010;10(5):880-884

0 引言

作为一种重要的光学系统,实际人眼除具有像散等像差外,还具有不规则的高阶像差,如球差、彗差等。这些像差影响人眼的视觉功能,易引起眩光、晕光,以及低照明光下视力下降等现象^[1-3]。对视觉质量要求的进一步提高促使我们去研究、矫正各阶像差。对比敏感度(contrast sensitivity,CS)是反映人眼辨认平均亮度下2个可见区域差别能力的指标,为人眼对恰好能识别出的某一空间频率(视标大小、粗细)的黑白相间光栅或条纹阈值的倒数,分

表 1 等级球镜对各阶像差的影响

							$\bar{x} \pm s$
组别	眼数	RMS ₁	RMS ₂	RMS ₃	RMS ₄	RMS ₅	RMS ₆
低度组	67	0.38 ± 0.25	1.37 ± 0.79	0.27 ± 0.16	0.17 ± 0.16	0.11 ± 0.10	0.08 ± 0.08
中度组	41	0.40 ± 0.19	2.76 ± 0.74 ^b	1.34 ± 0.18	0.19 ± 0.17	0.15 ± 0.19	0.08 ± 0.09
组别	眼数	RMS _g	RMS _h	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₂
低度组	67	1.50 ± 0.77	0.41 ± 0.36	0.10 ± 0.24	0.01 ± 0.23	-0.03 ± 0.31	0.04 ± 0.09
中度组	41	2.81 ± 0.75 ^b	1.55 ± 0.28	0.22 ± 0.24	0.06 ± 0.23	0.02 ± 0.20	0.10 ± 0.12 ^b

^b P < 0.01 vs 低度组。

为空间对比敏感度 (SCS) 和时间对比敏感度 (TCS)。CS 可用于眼科许多疾病的视功能的检测, 如白内障, 青光眼, 屈光不正, 弱视等。我们进行了远视、弱视儿童 66 例 132 眼的波前像差及对比敏感度的测量。对其波前像差进行比较分析, 并对其波前像差与对比敏感度的关系进行分析。从而探索远视、弱视眼的高阶像差与对比敏感度的关系, 为远视、弱视患儿的诊断及治疗提供客观依据。

1 对象和方法

1.1 对象 我院门诊 2005-12/2006-11 就诊的远视合并弱视患儿 66 例 132 眼。其中男 29 例 58 眼; 女 37 例 74 眼。年龄 5 ~ 13 (平均 8.34 ± 1.91) 岁; 屈光度 (等效球镜) 为 +0.50 ~ +7.50 (平均 +2.60 ± 1.76) D; 柱镜范围为 0 ~ +4.00 (平均 +1.15 ± 0.98) D; 其中球镜 0 ~ +3.00 (平均 +1.41 ± 0.83) D 者 67 眼; +3.00 ~ +6.00 (平均 +3.79 ± 0.86) D 者 41 眼; > +6.00 D 者 24 眼。柱镜 < +2.00 (平均 +0.84 ± 0.46) D 者 86 眼; ≥ +2.00 (平均 +2.43 ± 0.49) D 者 27 眼。矫正视力后轻度弱视 68 眼, 中度弱视 64 眼。

1.2 方法 常规检查: 所有研究对象均接受视力、裂隙灯、眼底镜检查。所有患儿视力用标准对数视力表检查以小数记录。然后用 10g/L 阿托品眼膏涂眼 7d, 2 次/d, 再进行散瞳下带状光检影获得散瞳屈光度, 测量角膜曲率, 符合入选标准的研究对象再进行对比敏感度和波前像差的检查。

1.2.1 波前像差检查 获取图像: 输入被检者姓名、年龄、眼别以及各眼的散瞳屈光度, 包括球镜、柱镜及轴向。我们采用 Tscheruing 波阵面像差分析仪测量 (德国 Wavelight Laser Technologie AG)。此波前像差分析仪主要分为两部分: 图像捕捉系统和图像处理系统。图像捕捉系统由红外 YAG 激光、透镜、红外摄像机以及照相机组成。嘱被检者注视激光点光栅中心的靶子上, 同时采用红外跟踪系统确保被检测眼的中心。视网膜图像由与计算机相连的高敏感性 CCD (charge coupled device, 电荷耦合装置) 照相机采集。被检测眼的像差由视网膜图像上的每个点的位置与其理想状态下相应的位置的偏差计算得出。所有检查均由同一人操作, 每眼重复检查 4 次, 所获得的四幅像差图, 图形有良好的相似性, 中心偏差 X, Y 轴 ≤ ±0.1mm, Z 轴 ≤ ±0.2mm。选择低阶像差 (近视和散视) 与散瞳验光误差最小。高阶像差图形和均方根 (RMS) 值重复性最好, 原始摄图对焦最理想, 中心偏位最少的一次检查结果入围本次研究。所有检查均在相同条件下由同一人操作。波前像差图像的处理和分析图像处理系统由计算机组成, 屏幕将显示三维的像差图形和各像差值。波阵面像差可近似地用 Zernike 多项式的均方根 (root mean square, RMS) 表达, 均以 μm 计算。像差分六阶: 一阶 (C₁ ~ C₂) 和二阶 (C₃ ~ C₅) 为倾斜, 散光和离焦 (正视和远视) 属低阶像差, 三阶至六阶为高阶像差, 三阶像差 (C₆ ~ C₉) 包括彗差, 四

阶像差 (C₁₀ ~ C₁₄) 包括球差, 五阶像差 (C₁₅ ~ C₂₀) 包括次级彗差, 六阶像差 (C₂₁ ~ C₂₇) 包括次级球差, RMS3 至 RMS6 分别代表三阶至六阶像差的均方根值, RMS_h 代表总的高阶像差的均方根值。

1.2.2 对比敏感度的检查 我们采用 CSV-1000 对比敏感度测试仪测试。受试者 3wk 后待瞳孔缩回至正常状态下, 双眼矫正至最佳视力, 距离为 46cm, 光照度为 150Lx, 注意力集中, 每测试 1 次, 休息 1 ~ 2min, 然后进行下次测试, 1 眼测试时, 另 1 眼遮盖。分别做单眼视状态下的 4 种空间频率即 3, 6, 12 和 18 周/度 (cycles per degree, cpd) 的对比敏感度测试, 每个空间频率上有 8 个光栅格, 鼓励受试者尽力去观看, 直到每个空间看不出任何光栅条纹的方向为止。在记录的表格中的相应位置记录下每排最后回答正确的一个光斑, 作为其对比敏感度阈值的最终记录点。所有检查均在相同条件下由同一人操作。

统计学分析: 所有数据均采用 SPSS 11.5 统计软件包进行处理。研究对象一般资料及各屈光参数均数皆采用均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示。采用配对 t 检验, 单因素方差分析比较屈光不正高度组与低度组的高阶像差的差异性, 不同散光度下的高阶像差的差异性, 不同矫正视力下各阶像差值的差异性, 用 Person 等级相关用于分析各像差值与对比敏感度值在数量上的相关性。

2 结果

不同组别的波前各阶像差的比较: 波前像差球镜, 柱镜及散光轴与 10g/L 阿托品眼膏散瞳后带状光检影结果的比较, 本组 132 眼带状光检影球镜度为 +2.60 ± 1.76D, 柱镜度为 +1.15 ± 0.98D, 散光轴为 +82.83 ± 27.96。而波前像差仪测得的球镜度为 +2.76 ± 1.69D, 柱镜度为 +1.35 ± 1.02D, 散光轴向为 85.37 ± 30.72, 用单因素方差分析, 球镜度、柱镜度和散光轴向的差异均无显著性。屈光度数对各阶像差的影响 ($D, \bar{x} \pm s$)。等级球镜对各阶像差的关系 RMS2, RMS3, RMS4, RMS5, RMSg, C9, C12 与屈光度数有相关性。相关系数分别为 0.758, 0.201, 0.214, 0.236, 0.742, 0.227, 0.379。在低中度组比较可见各阶像差值中度组均高于低度组, 两组比较各阶像差仅 RMS2, RMSg 及 C12 差异有显著意义 (P < 0.05, 表 1)。柱镜度与三叶散光、彗差、球差之间的关系, 随着远视散光度增加三叶散光、彗差、球差都增加, 但两两比较 C6 差异有显著性 (P < 0.05), 其余均无差异显著性 (表 2)。不同矫正视力与各阶像差值的比较, 低度弱视与中度弱视组比较 RMS1 与 RMS5 及 RMS_h 差异有显著性 P < 0.01, 其他像差值和矫正视力比较差异无统计学意义, 但轻度弱视组中各阶像差值均明显低于中度弱视组 (表 3)。比较各像差值与对比敏感度之间的相关性。低频区 (3c/d) 与 S1, S4, S_h 有关。中频区 (6c/d) 与各阶像差值无关。高频区 (12 ~ 18c/d) 与 S4, C12 有关 (图 1, 2)。

表2 不组散光下的彗差、球差和三叶散光

组别	柱镜	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{12}
I组	0 ~ +1.75	0.09 ± 0.17	0.07 ± 0.24	0.41 ± 0.33	-0.04 ± 0.32	0.06 ± 0.11
II组	+2.0 ~ ±6.0	0.21 ± 0.12	0.43 ± 0.31	0.8 ± 0.21	-0.09 ± 0.45	0.07 ± 0.12

表3 不同矫正视力下各阶像差值

矫正视力	眼数	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
0.2 ~ 0.5 (I)	68	0.40 ± 0.32	1.94 ± 1.11	0.30 ± 0.28	0.20 ± 0.19	0.14 ± 0.16
0.6 ~ 0.8 (II)	64	0.58 ± 0.1	2.40 ± 0.91	0.54 ± 0.11	0.43 ± 0.08	0.39 ± 0.06

矫正视力	眼数	S_6	S_7	S_8	C_7	C_8	C_9
0.2 ~ 0.5 (I)	68	0.40 ± 0.32	1.94 ± 1.11	0.30 ± 0.28	0.20 ± 0.19	0.14 ± 0.16	-0.46 ± 0.36
0.6 ~ 0.8 (II)	64	0.58 ± 0.10	2.40 ± 0.91	0.44 ± 0.11	0.43 ± 0.08	0.29 ± 0.06	-0.10 ± 0.26

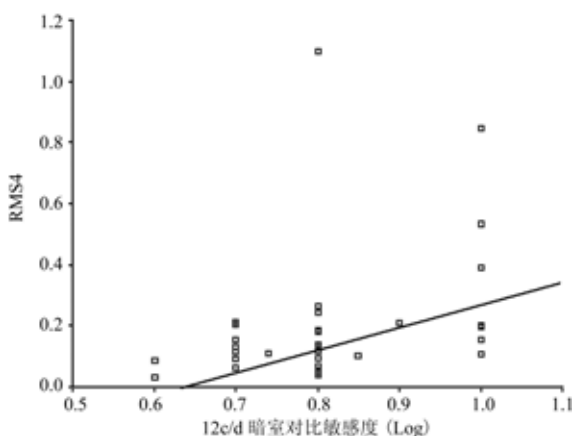


图1 暗室中 RMS4 与 12c/d 对比敏感度的相关性 ($r=0.36$)。

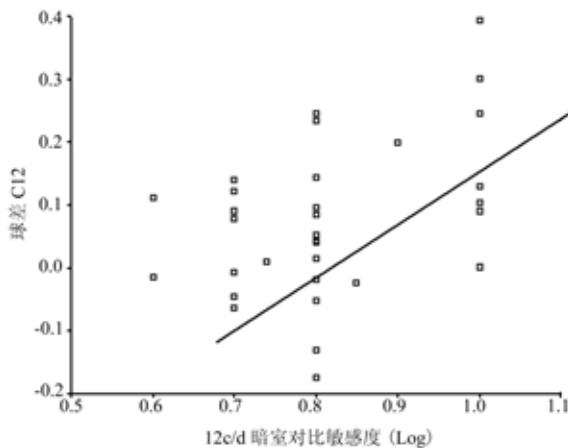


图2 暗室中球差 C12 与 12c/d 对比敏感度的相关性 ($r = 0.419$)。

3 讨论

波前和波前像差作为物理学概念早已存在于所有的光学系统。而人眼球是一种极其复杂的光学系统,因此,它同样存在波前和波前像差。在某一时刻,振动传播方向上同位相的点所形成一个面,称为波阵面,简称为波前。如果入射光为单色近轴光,物体上的一个点经过理想光学系统可获得一个清晰的像点。在理想成像的情况下,点光源经过光学系统后所形成的像应是一个以理想像点为中心的球面,即理想波前。因此,波前是光波连续性的同相表面,波前与光线前进的方向垂直。出现不清晰的像点表明其不是由理想的波前聚集形成。如果光学系统出射波面变形那实际的波前则为不规则球面,其与理想波前间的

偏差,即为波前像差^[4]。从几何光学角度可将像差分为色像差和单色像差^[5]。人眼并非理想的光学系统,单色光成像时又可以分为球差、彗差、场曲、像散和畸变等5种像差。白色光成像时,还可同时产生轴向色差和垂直色差。波前像差是衡量光学系统成像质量的重要指标。通过它可以推算出评价光学系统成像性质和图像对比敏感度的四个函数:相位传递函数,调制传递函数,点扩散函数,线扩散函数^[6]。人眼由于受到各种倾斜,非对称和非同心等光学缺陷的影响,其轴仅见近似的假想轴线,视网膜上的像存在不同程度的扭曲和模糊,这便是人眼像差。在影响视网膜成像的像差因素中,最重要的是球差和色像差。

人眼波前像差来源于:(1)角膜与晶状体的表面曲度存在局部偏差;(2)眼屈光介质不同轴;3眼屈光介质的内容物质不均匀,从而造成折射率的局部偏差。波前像差检测仪大体分为主观法和客观法两种类型。如:激光光路追踪法(LRT)^[7], Shack-Hartman^[8], 感受器和 Tscherning 感受器^[8], 和空间分辨率射仪(SRR)^[7]。LRT, Shack-Hartmann 感受器和 Tscherning 感受器均是客观测量波前像差的方法,像点的清晰度是依据视网膜的反射光判断,客观性检查法需要成像系统分析从视网膜反射回的信息,而反射回来的信息是从视网膜脉络膜等多层次而来的,因此参照焦点平面定义的像差并不像主观法那么准确。而 SRR 是一种心理物理学方法,需要检查者的配合,同时通常耗时较长,这种检查方法缺点是需要移动受检者和需要受检者配合。成像点的清晰度由患者主观判断,测量速度较快,测试的每条光线依次入眼,患者反应迟钝时误差增大,但高阶像差的精确度依然高。目前应用在 Wavelyht Allegretto 系统、Ladar Vision 激光系统、Laser Sight 系统的是客观性检测法如 Shack - Hartmann 波前检测和 Tscherning 波前检测。而我们进行的波前像差仪为 Tscherning 波前检测系统,此种为视网膜成像波前测量法。波前像差的形成由在视网膜上成像的偏差而定,因此叫“视网膜成像”法。这种波前检测的形成是由 Tscherning 原理来进行描述的。激光束经校准平行后通过一个 13 × 13 即 169 小孔的屏,从而产生了整齐排列的数个光点(去除中心光点),从而在视网膜上成像。在经过眼介质时,光点的排列会由于介质的不规则而产生偏差,这种扭曲的光点排列会通过一个同轴的相机记录下来^[9]。光点和无像差时光点位置的偏差可用于精确计算波前的形态(Seiler 法)^[10]。目前,虽然用于测量人眼像差的波前像差仪(镜)有多种,但多采用 Zernike 多项式和波前像差图表达其测量结果。像差图显示的是经过瞳孔中心光线

与其他经过屈光系统光线的光程差^[11],将结果以二维或三维伪彩图形表示。如果要对象差进行深入研究,必须以数字对象差进行描述。Zernike 多项式是计算各条光线的光程(实际波前)与通过瞳孔中心的主光线的光程(理想波前)的差值,即为各条光线的波前像差。通过 Zernike 多项式,可以量化眼光学系统的像差。常用的 Zernike 多项式为 7 阶 35 项,其中一阶与二阶是常规的低阶像差,在常规验光中可用球镜度、柱镜度及散光轴表示。而三阶以上为高阶像差,包括彗差、三阶球差、像散、场曲、畸变等,用常规的验光手段无法测量。如 Zernike 多项式的第 1 项为 x 轴倾斜,第 2 项为 y 轴倾斜,第 3 项为 0°和 90°散光,第 5 项为 45°和 135°散光,第 4 项为离焦,即近视或远视,第 9 项为 x 轴彗差,第 8 项为 y 轴彗差,第 12 项为球差,其他各项则不包含在经典几何光学理论之内。

波前像差现已由单纯的物理光学概念变为影响人眼视功能的研究方向,在眼科临床中应用广泛。Burns 在应用 SRR 研究调节对波前像差影响时发现眼的屈光系统在消除调节时,视网膜成像质量是最好的^[12]。我们每个患者在经过 10g/L 阿托品 7d 散瞳后眼调节基本消除可发现视网膜检影的数值和 Wavelight 波前像差仪测量的低阶像差数值均极为相似,差异无显著性。因此,波前像差仪可作为补充传统验光的一种好方法。Liang 等首次报道用波前感受器测量人眼屈光系统的总体像差,随后出现了大量关于近视眼高阶像差研究分析报道。波前像差概念的提出对解决屈光系统的像差问题,尤其是角膜屈光手术所导致的视觉质量问题有重要的实验和临床价值。许多研究表明角膜屈光手术后高阶像差值增大,而且术后并发症也与高阶像差值的增加有关。近年来,国内外许多学者使用波前像差引导的“个性化切削”屈光手术,发现术后 BSCVA(最佳矫正视力)显著提高,并发症明显减少。手术效果令人满意。因此,应对术前高阶像差偏高的患者,尤其是球差,彗差较高者,暗光下瞳孔较大的患者,以及有特殊要求的患者如夜间驾驶,参军等,以及传统屈光手术后的某些并发症如眩光,光晕,夜间视物模糊等给予波前引导的“个性化切削”。He 等^[13]研究发现 20% 的近视眼患者各阶 RMS 值均高于正视眼,认为高阶像差可能在近视的发展中起一定的作用。我们在此研究中发现远视弱视儿童的各阶像差值随屈光度增加而增加,我们推测高阶像差可能在远视、弱视的发展中起一定的作用。有研究表明 RMS4, RMS6 随散光度数增加而增加,而散光度数增大球差增加^[11]。也有研究认为散光增大,彗差增加。我们的结果显示(表 2),远视儿童散光度数增加,各高阶像差如三叶散光,彗差,球差都增大,但两两比较仅 C6 差异有显著性。

根据视网膜结构,人眼视力最好可达到 20/10,甚至更好,然而视觉敏感度受视网膜的分辨力,瞳孔的作用,及眼球的光学系统,如角膜、晶状体,玻璃体的光学像差等多方面限制^[14]。当视网膜分辨力和瞳孔相对稳定情况下,人眼像差就显得十分重要。我们研究结果显示矫正视力中低度组比较 RMS1, RMS5 以及 RMS_h 差异有显著性。而与其他高阶像差无统计学意义。但是轻度弱视组中各阶像差值均明显低于中度弱视组(表 3)。由于重度弱视组患儿年龄太小,无法合作检查,未纳入对比组故无统计学意义。故高阶像差是否影响弱视程度,需进一步研究。

屈光不正对高阶像差均有影响,本结果显示,球性和柱性屈光不正和球差、彗差以及主要和高阶像差均表现出

广泛的相关性,其中最密切的为球性屈光不正与球差的相关性。有关理论说明,屈光不正对球差有影响,如球差和入射角成正比^[15]。本研究亦证明,屈光不正的大小和球差有相关性,相关系数为 0.379($P \leq 0.01$)。而我们在临床上发现球差越大的患者影响视觉质量程度越深。在屈光手术方面进行球—柱像差的消除有利术后视觉质量的提高。而在儿童远视弱视治疗方面亦相同,弱视经过一段时间的治疗后视力提高,屈光不正度数减轻则球差数值减小,视觉质量提高,这与近视治疗的结果是一致的。我们在使用 Wavelight 波前像差仪测量弱视儿童的波前像差时发现了和别的像差仪同样的缺陷,对于远视屈光度 $> +6.00D$ 的测量时图形较难出现,数据较难得出。而 $> +6.00D$ 的远视弱视患儿仍有相当的一部分,故我们觉得像差仪的设计尚待进一步研究后完善。目前多数的观点认为影响高阶像差的因素有眼部手术或外伤,年龄^[16],屈光不正,瞳孔大小和位置^[17],屈光调节力^[18]以及被检者的合作程度有关。因此波前像差的测量精度还有待于进一步提高^[19]。

视觉系统最重要的功能是形觉,即不仅感觉到物体的光,且能分辨它和认识它的形状。目前在临床上对它进行评价的主要手段是视力表,但是单纯用视力表检查视角的大小只能反映黄斑对于高对比度(即图形的反差很明显)的小目标的分辨功能,例如用黑字印在白纸上的视力表检查。两人的视力相等,换用黑字印在灰色纸上的视力表检查,两人的视力就不一定相等。CS 的检测可更准确地反映患者的真实视力。即对比敏感度检查是在明暗对比度变化的情况下确定的视觉系统对不同空间频率的正弦光栅条纹的识别能力,是测试视标边缘与背景照明间对比分辨的能力。条栅越粗,空间频率越低,条栅越细,空间频率越高。一对明暗条栅称为一周,并以每度角所含的周数代替空间频率,单位是周/度(cyc/degree, cpd),每一空间频率均有对比度阈值。在同一空间频率,人眼所能识别的最小对比度称为对比敏感度阈值。阈值的倒数即为对比敏感度。将视角与对比度结合起来,测定人眼对各种不同空间频率的图形所能分辨的对比度,得出对比敏感度函数(CSF)。低频区主要反映视觉对比度情况,高频区主要反映视敏度,中频区较为集中反映视觉对比度和中心视力综合情况。

正常儿童的 CSF 随空间频率的变化可分为三个区段,低空间频率区($SF \leq 1.5c/deg$),中空间频率区($SF 1.5 \sim 6.04 c/deg$),高空间频率区($SF \geq 6.0c/deg$),CSF 的峰值位于中空间频率区段,说明正常儿童的视觉系统对这一空间频率区的条纹的敏感程度较高。CS 是弱视早期视功能仅有微小改变时最敏感的诊断指标,有研究表明弱视儿童与正常对照组相比,不同空间频率下 CS 有不同程度的降低,表明弱视儿童的 CS 阈值比正常儿童明显升高,斜视性弱视主要引起高频区 CS 下降;屈光参差性弱视则引起全频 CS 下降,剥夺性弱视仅在低频区 CS 的下降表明严重的视力丧失。对早期弱视诊断很重要,对比敏感度与视力在治疗中呈平行上升,但在视力无改善时,对比敏感度可有所提高。而与正常儿童比较,弱视患儿的 CSF 曲线较正常儿童的 CSF 曲线低平,峰值向低空间频率区移位,中、高空间频率区的 CSF 明显受损。在我们的研究中发现,弱视患儿的对比敏感度为全空间频率的 CSF 受损,尤其是中高空间频率受损严重。

本实验的对比敏感度测量是在最佳眼镜矫正下进行

的,所以此时离焦和像散已经不是主要的像差,而球差、彗差等高阶像差占主导地位。从理论上讲,高阶像差对高频低对比度的图形会产生影响。本研究的结果正显示高阶像差中球差对暗室高频段(12c/d)对比敏感度值有相关性,表明人眼高阶像差球差影响到人眼的对比敏感度,尤其是高频段的对比敏感度。儿童远视弱视的诊断和治疗应从弱视的发病机制出发,全面检查,总体考虑,明确年龄因素,矫正方法及各种眼球的异常及不同的光学改变对视力的影响。高阶像差及对比敏感度更细微更客观地反映视觉质量,在弱视的治疗中,虽然患儿视力无明显提高,但对比敏感度有所提高,高阶像差有所改变,提示在患儿治疗过程中,对比敏感度与高阶像差比视力反应更早。因此高阶像差和对比敏感度能较正确反映弱视治疗的效果,推断其愈后,我们认为高阶像差及对比敏感度的引入在指导小儿远视弱视的诊断、治疗和愈后方面,有重要的临床意义。

参考文献

- 1 Martinez CE, Applegate RA, Klyce SD, et al. Effect of papillary dilation on corneal optical aberrations after photorefractive keratectomy. *Arch Ophthalmol* 1998;116:1053-1062
- 2 Oshika T, Klyce SD, Applegate RA, et al. Comparison of corneal wavefront aberrations after photorefractive keratectomy and laser *in situ* keratomileusis. *Am J Ophthalmol* 1999;127:1-7
- 3 Oliver KM, Hemenger YP, Corbett MC, et al. Corneal optical aberrations induced by photorefractive keratectomy. *J Refract Surg* 1997; 13:246-254
- 4 Liang J, Grimm W, Goelz S, et al. Objective measure of the wave aberrations of the human eye using Hartmann-Shack wavefront sensor. *J Opt Soc Am* 1994;11(7):1949-1957
- 5 Charman WN. Wavefront aberration of the eye: A review. *Optom Vis Sci* 1991;68:574-585
- 6 Miller DT, Williams DR, Morris GM, et al. Images of cone photoreceptors in the living human eye. *Vision Res* 1996;36(8):1067-1079
- 7 Guirao A, Gonzalez C, Redondo M, et al. average optical performance of the human eye as a function of age in a normal population. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1999;40:203-213
- 8 Thibos LN, Hong X. Clinical applications of the Shack-hartmann Aberrometer. *Optom Vis Sci* 1999;76:817-825
- 9 Mrochen M, Kaemmerer M, Mierdel krinks HE, et al. Principles of Tscherning Aberrometry. *J Refract Surg* 2000;16:570-571
- 10 Mac-Rae SM, Kreger RR, Applegate RA. Customized cornea ablation: the quest for supervision. SLACK Incorporated 2001:185-188
- 11 Meirdel P, Wiegard W, krinke HE, et al. Measuring device for determining monochromatic aberrations of the human eye. *Ophthalmology* 1997;6:441-445
- 12 Moreno-Barriuso E, Marcos J, 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
- 13 He JC, Sun P, Heid R, et al. Wavefront aberration in eye of emmetropic and moderately myopic school children and young adults. *Vision Res* 2002; 42:1063-1070
- 14 Applegate RA. Limits to vision; can we do better than nature. *J Refract Surg* 2000;16:S547-551
- 15 张以谟. 应用光学. 北京:机械工业出版社 1982:294
- 16 Brunette I, Bueno JM, Parent M, et al. Monochromatic aberrations as a function of age, from children to advanced age. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2003;44:5438-5446
- 17 Yabo-yang K, Thompson SA. Burns Pupil Location under Mesopic, Photopic, and Pharmacologically Dilated Conditions. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002;43:2508-2512
- 18 Atchison D, Collins M, Wildsoet C, et al. Measurement of monochromatic ocular aberrations of human eyes as a function of accommodation by the Howland aberroscope technique. *Vision Res* 1995; 35:313-323
- 19 严宗辉,胡建荣,黄丽娜. 眼高阶像差评价分析. 中国实用眼科杂志 2003;21:201-203