

青少年正视眼与近视眼调节微波动的差异及其与波前像差的关系

乐融融 郑志利 宋佳丽 吕帆

【摘要】 **背景** 人眼在观察外界的物体时,调节反应呈现出持续波动状态。青少年阶段是近视发生和发展的关键时期,通过研究这一人群的调节微波动的特点及眼球像差的分布情况,将有助于我们理解近视的发生和进展。**目的** 研究持续阅读情况下青少年正视眼与近视眼调节微波动的差异及其与眼球像差之间的关系,探讨产生微波动差异的原因及其对近视发生和发展的影响。**方法** 前瞻性对照研究。纳入 2010—2011 年在温州医科大学附属眼视光医院进行定期眼科常规检查的 12~15 岁青少年 54 人,包括正视者 19 人和近视者 35 例,受试者均进行扩瞳后客观和主观验光,然后根据受试者近 2 年来近视屈光度的变化情况将近视眼分为初发性近视组 18 例和进展性近视组 17 例。受试者分别在 25、33 和 50 cm 距离处阅读计算机显示屏上的文字,使用 WAM-5500 红外验光仪测量受试者阅读过程中的调节反应和调节微波动,每个注视距离检测 5 min。将测得的调节反应值经频谱傅里叶分析后将微波动能量按频率划分为低频段组分(LFC)(0~0.6 Hz)、中频段组分(MFC)(0.6~0.9 Hz)和高频段组分(HFC)(1.0~1.4 Hz)进行计算和分析。采用 i-Trace 波前像差仪测量受试者全眼像差,用 Humphrey 角膜地形图仪采集和计算角膜像差,比较正视眼组、初发性近视组和进展性近视组受试眼调节反应、调节微波动和波前像差的差异,对受试者调节指标与波前像差间的关系进行分析。**结果** 在 25 cm 和 33 cm 的阅读距离下,正视眼组调节反应值分别为(2.78±0.35)D 和(2.19±0.27)D,明显高于进展性近视组的(2.44±0.33)D 和(1.89±0.35)D,差异均有统计学意义($P=0.002$ 、 0.003)。受试者的 LFC、MFC 及 HFC 随阅读距离的缩短而增加,差异均有统计学意义($F_{\text{阅读距离}}=8.480$ 、 14.270 、 21.400 ,均 $P<0.01$),但仅 LFC 值在 3 个组间总体差异有统计学意义($F_{\text{分组}}=4.115$, $P<0.05$),其中进展性近视眼组 LFC 能量高于正视眼组,差异均有统计学意义(25 cm: $P=0.044$;33 cm: $P=0.038$;50 cm: $P=0.032$),3 个组间 MFC 以及 HFC 值的差异均无统计学意义($F_{\text{分组}}=0.859$ 、 0.682 ,均 $P>0.05$)。在 25 cm 和 33 cm 阅读距离下,LFC 值与角膜彗差、眼内彗差、全眼总高阶像差和眼内总高阶像差间均呈正相关(均 $P<0.05$),而 MFC 和 HFC 与像差间均无明显相关性。**结论** 青少年正视眼的调节反应强于进展性近视眼,而正视眼和初发性近视眼调节微波动能量小于进展性近视眼。近距离阅读下,调节微波动中仅 LFC 能量与人眼的高阶像差相关。

【关键词】 眼调节/生理;近视/生理病理;正视眼;屈光不正;青少年

Association analysis of accommodative microfluctuations and wavefront aberration in emmetropia and myopia in teenagers Le Rongrong, Zheng Zhili, Song Jiali, Lyu Fan. School of Ophthalmology & Optometry, Eye Hospital, Wenzhou Medical University, Wenzhou 325027, China
Corresponding author: Lyu Fan, Email: lufan@mail. eye. ac. cn

【Abstract】 **Background** When focusing on a target, the accommodative system exhibits small variations in power within a range, termed microfluctuations. Exploring the correlation between the characters of microfluctuations and the aberrations of the eyes through a critical period-teenager can deepen the understanding of the onset and development of myopia. **Objective** This study was to investigate the correlation between accommodative microfluctuations and wavefront aberrations of human eyes, and to explore the role of accommodative microfluctuations in the development of myopia. **Methods** A cross-sectional study was designed and performed. Fifty-four teenagers aged from 12 to 15

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2015.08.016

基金项目:温州医科大学眼视光学院、医院、研究院创新引导项目(YNCX201106)

作者单位:325027 温州医科大学附属眼视光医院 眼视光学院

通信作者:吕帆,Email:lufan@mail. eye. ac. cn

years were enrolled in this study in Eye Hospital, Wenzhou Medical University from 2010 to 2011, including 19 emmetropic subjects, 18 incipient myopic subjects and 17 progressive myopic subjects, who were chosen based on the refractive changes for the last two years. The accommodative response and microfluctuations were measured by WAM-5500 infrared autorefractor with RSVP at 25, 33 and 50 cm respectively, each RSVP distance was tested for 5 minutes. The accommodative values were divided into low frequency component (LFC) (0–0.6 Hz), middle frequency component (MFC) (0.6–0.9 Hz) and high frequency component (HFC) (1.0–1.4 Hz) after Fourier spectrum analysis. The wavefront aberrations of the whole eye and corneal were recorded by i-Trace aberrometer and Humphrey corneal topography. The differences of accommodative response, microfluctuations and aberrations were evaluated and compared among the emmetropic group, incipient myopic group and progressive myopic group. The correlations of accommodation and aberrations were analyzed. This study followed Declaration of Helsinki, and informed consent was obtained from each subject.

Results Under the 25 cm and 33 cm reading distance, the accommodative response values were (2.78 ± 0.35) D and (2.19 ± 0.27) D in the emmetropic group, which were significantly higher than (2.44 ± 0.33) D and (1.89 ± 0.35) D in the progressive myopic group ($P=0.002, 0.003$). LFC, MFC and HFC were remarkably increased as the reading distance decreased ($F_{\text{distance}} = 8.480, 14.270, 21.400$; all at $P < 0.01$). A significant difference was seen in LFC among different reading distances ($F_{\text{group}} = 4.115, P < 0.05$), and the LFCs in the progressive myopic group were considerably higher than those in the emmetropic group in the 25, 33 and 50 cm reading distances ($P=0.044, 0.038, 0.032$). No significant differences were found in MFC and HFC among the three groups ($F_{\text{group}} = 0.859, 0.682$; both at $P > 0.05$). Under the 25 cm and 33 cm reading distances, significant positive correlations were found between LFC and corneal coma, intraocular coma, whole ocular aberrations or intraocular higher order aberrations (all at $P < 0.05$), however, no significant correlations were seen between MFC or HFC and wavefront aberrations (all at $P > 0.05$).

Conclusions In teenagers, the accommodative response of emmetropia is much stronger than that of progressive myopia, and the accommodative microfluctuation in emmetropia and incipient myopia is much less than that in progressive myopia. These shifts are possibly associated with the variability, and microfluctuations of accommodation is greater in progressive myopes than emmetropes. There are certain correlations between wavefront aberrations and accommodative microfluctuations. The refractive group differences in the accommodative microfluctuations may be related to differences in the wavefront between myopes and emmetropes. Under near reading distance, LFC is correlated with higher order aberrations.

[Key words] Accommodation, ocular/physiology; Myopia/physiopathology; Emmetropia; Refractive errors; Teenagers

即使在观察静止的物体时,人眼的调节反应也不是固定不变的,而是在约 0.5 D 的范围内波动,称为调节微波动^[1]。有研究提出,调节微波动可以影响人眼屈光系统的焦深,可能在近视的发生和发展过程中发挥重要作用^[2]。人眼焦深受多个因素的调控,其中波前像差通过降低视网膜成像质量而影响人眼的模糊感知,改变系统焦深的大小。青少年阶段是近视发生和发展的关键时期,研究这一特定人群在近距离工作时的调节反应、调节微波动的特点及其与人眼波前像差之间的关系有助于我们探讨焦深、成像质量在近视进展过程中的变化,为近视的预防和治疗提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 资料

1.1.1 一般资料 采用前瞻性研究方法。纳入

2010—2011 年在温州医科大学附属眼视光医院进行定期眼科常规检查的 54 名青少年受试者,其中男 25 人,女 29 人;年龄 12 ~ 15 岁,平均 (13.28 ± 1.14) 岁。所有受试者双眼进行检测,纳入符合试验条件的单眼,若双眼均符合纳入标准则仅纳入右眼。由同一医师对受试者进行主觉验光及眼部检查。根据既往检查的记录及检查结果对受试者进行分组,其中正视眼组 19 人,屈光度为 $+0.50 \sim -0.25$ D;初发性近视组 18 例,距此次检查半年前的屈光度 ≥ -0.25 D,此次客观验光屈光度 ≤ -0.50 D;进展性近视组 17 例,此次检查屈光度 ≤ -1.00 D,且近 2 年内每年近视度数进展 ≥ 0.50 D。所有受试者的柱镜度均 < 0.75 D,最佳矫正视力均 ≥ 5.0 。排除标准:有眼部外伤史、手术史、近期角膜接触镜配戴史者。受试者基本信息见表 1。本研究遵循赫尔辛基宣言,所有受试者均自愿参加,受试者监护人均签署知情同意书。

表 1 3 个组受试者人口基线特征比较

组别	人数	年龄 ^a ($\bar{x}\pm s$, 岁)	性别 ^b (男/女)	屈光度 ^a ($\bar{x}\pm s$, D)
正视眼组	19	13.0 \pm 1.2	12/7	-0.01 \pm 0.2
初发性近视组	18	13.4 \pm 1.0	8/10	-1.01 \pm 0.3
进展性近视组	17	13.6 \pm 1.1	5/12	-3.67 \pm 1.0
F/χ^2		1.50	4.14	131.35
P		0.26	0.13	<0.01

(a: 单因素方差分析; b: Pearson 卡方检验)

1.1.2 主要仪器 iTrace 波前像差仪(美国 Tracey Technologies 公司); Humphrey 计算机辅助角膜地形图仪(德国 Zeiss 公司); OU-400 综合验光仪(日本 Topcon 公司); 自行搭建的调节微波动测量系统, 包含 WAM5500 红外验光仪(日本 Grand Seiko 公司)和 RSVP 视标、U1010 笔记本电脑(日本 Fujitsu 公司)以及可调节距离的支架(图 1A)。笔记本电脑液晶屏分别置于受试者眼前 25、33 和 50 cm, 与之对应的 RSVP 设置的字体大小分别为 9、12 和 14 pt, 3 种距离下视标对应的视角均为 0.15°, 字体呈现速度为 150 个/min, 阅读材料与青少年阅读能力相匹配的趣味短文(图 1B)。

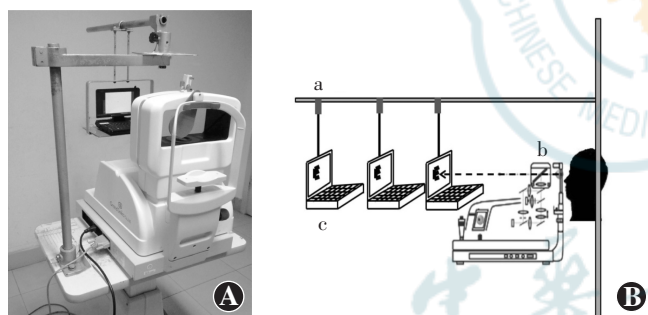


图 1 调节微波动检测系统检测仪及示意图 A: 调节微波动检测仪 B: 调节微波动检测系统示意图 a 为距离可调的支架, b 为 WAM-5500 红外验光仪的测量窗口, c 为显示 RSVP 视标的笔记本电脑

1.2 方法

收集受试者既往记录的屈光度数, 通过此次的主观验光获得最佳矫正视力, 并达到足够的屈光度矫正。所有受试者检查前 1 h 开始配戴足矫眼镜, 测量像差(分别测量眼内像差及角膜像差)、瞳孔大小和调节反应, 测量顺序由计算机随机产生。调节反应测量时, 受试者分别在 25、33 和 50 cm 下进行 5 min 的连续阅读, 阅读顺序由计算机随机产生, 阅读过程中测量即时调节反应及调节微波动, 每一距离测量结束后, 至少休息 5 min。

1.3 测量参数

1.3.1 调节反应及调节微波动 使用自行设计的调节微波动测量系统, 用 WAM-5500 红外验光仪记录受试者在 3 个阅读距离下的即时调节反应和调节微波

动。调节反应结果由验光仪直接提供, 调节微波动结果以微波动能量表示, 即将调节反应值经过频谱分析后得到各波段能量, 用扩展傅里叶函数转化后将波动能量按频率划分为低频段成分(low frequency component, LFC)(0 ~ 0.6 Hz)、中频段成分(middle frequency component, MFC)(0.6 ~ 0.9 Hz)和高频段成分(high frequency component, HFC)(1.0 ~ 1.4 Hz)^[3]。每个阅读距离测量时间为 5 min, 每次测得所有数据按时间平均分为 20 段, 每 15 秒的测量值为 1 个独立片段。将每个片段的调节数据进行波谱分析, 所得数据计算的平均值即为该阅读距离下的调节微波动能量值^[4]。

1.3.2 波前像差

1.3.2.1 角膜像差 根据受试者角膜地形图结果转换得到角膜像差, 经过瞳孔偏移转化和球差校准, 得到实际角膜像差值。每位受试者均测量 3 次, 取其平均值。

1.3.2.2 全眼像差 患者处在暗室内以使瞳孔扩大至 6 mm, 使用 Humphrey 角膜地形图仪测量角膜像差, 使用 i-Trace 波前像差分析仪测量全眼像差, 将经过转换后的、以入瞳中心为中心的角膜像差与全眼像差的各 Zernike 项进行矢量相减以获得前 7 阶 33 项(不包括 C1、C2 和 C3)的 Zernike 眼内像差值。采用美国光学协会委员会推荐的表示法以及波前像差的均方根值对像差进行描述和分析^[5]。每位受试者测量 3 次, 取其平均值。

1.3.2.3 眼内像差 由于本研究的角膜像差和全眼像差均统一以入瞳中心(即瞳孔中心)为参考中心, 因此可以将全眼各项 Zernike 像差值与角膜各项 Zernike 像差值进行矢量相减得到眼内像差。

1.4 统计学方法

采用 SPSS 16.0 统计学软件进行统计分析。本研究中测量指标的数据资料经 W 检验服从正态分布, 以 $\bar{x}\pm s$ 表示, 组间均数经 Levene 检验方差齐。采用均衡分组单因素干预三水平试验设计, 正视眼组、初发性近视组和进展性近视组受试者在各阅读距离下调节反应值的差异及受试眼像差的差异比较均采用单因素方差分析; 3 个组受试者在不同阅读距离下 LFC、MFC 和 HFC 的总体差异比较采用重复测量两因素方差分析, 多重比较均采用 LSD-*t* 检验。不同阅读距离下受试者调节微波动与全眼像差、角膜像差、眼内像差的关系分析采用 Pearson 线性相关分析。P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 受试者的调节反应及调节波动

2.1.1 各组受试者不同阅读距离视标测量的调节反应值 在 25 cm、33 cm 阅读距离下,3 个组调节反应值总体差异均有统计学意义 ($F = 5.45, P < 0.01$; $F = 4.89, P < 0.05$),而在 50 cm 阅读距离下 3 个组总体差异无统计学意义 ($F = 2.35, P > 0.05$)。在 25 cm、33 cm 阅读距离下,进展性近视组受试者的调节反应均低于正视眼组,差异均有统计学意义 ($P = 0.002, 0.003$) (表 2)。

表 2 3 个组受试者在不同阅读距离下的调节反应值 ($\bar{x} \pm s, D$)

组别	人数	不同阅读距离的调节反应值		
		25 cm	33 cm	50 cm
正视眼组	19	2.78±0.35	2.19±0.27	1.43±0.18
初发性近视组	18	2.60±0.25	2.03±0.17	1.32±0.17
进展性近视组	17	2.44±0.33 ^a	1.89±0.35 ^a	1.26±0.33
<i>F</i>		5.45	4.89	2.35
<i>P</i>		<0.01	<0.05	>0.05

注:与各自的正视眼组比较,^a $P < 0.01$ (单因素方差分析, LSD-*t* 检验)

2.1.2 各组受试者不同阅读距离下调节微波动的变化 所有受试者的 LFC、MFC 及 HFC 值随阅读距离的缩短而增加,总体差异均有统计学意义 ($F_{\text{阅读距离}} = 8.480, 14.270, 21.400$, 均 $P < 0.01$),在 25、33 和 50 cm 阅读距离下,进展性近视组受试者平均 LFC 值高于正视眼组,差异均有统计学意义 ($P = 0.044, 0.038, 0.032$)。在同一注视距离下,3 个组受试者的 MFC 值及 HFC 值差异均无统计学意义 ($F_{\text{分组}} = 0.859, 0.682$, 均 $P > 0.05$) (表 3~5)。

表 3 3 个组受试者在不同阅读距离下 LFC 值 ($\bar{x} \pm s, D^2/Hz$)

组别	人数	不同阅读距离下 LFC 值		
		25 cm	33 cm	50 cm
正视眼组	19	0.047±0.021	0.037±0.019	0.025±0.013
初发性近视组	18	0.063±0.062	0.049±0.033	0.039±0.029
进展性近视组	17	0.082±0.049 ^a	0.064±0.059 ^a	0.047±0.028 ^a

注: $F_{\text{分组}} = 4.115, P < 0.05$; $F_{\text{阅读距离}} = 8.480, P < 0.01$; $F_{\text{交互作用}} = 0.312, P = 0.734$ 。与各自阅读距离下的正视眼组比较,^a $P < 0.05$ (重复测量两因素方差分析, LSD-*t* 检验) LFC:低频段微波动能量

表 4 3 个组受试者在不同阅读距离下 MFC 值 ($\bar{x} \pm s, D^2/Hz$)

组别	人数	不同阅读距离下 MFC 值		
		25 cm	33 cm	50 cm
正视眼组	19	0.010±0.005	0.007±0.004	0.007±0.005
初发性近视组	18	0.008±0.004	0.006±0.002	0.005±0.004
进展性近视组	17	0.009±0.005	0.007±0.004	0.006±0.004

注: $F_{\text{分组}} = 0.859, P > 0.05$; $F_{\text{阅读距离}} = 14.270, P < 0.01$; $F_{\text{交互作用}} = 0.539, P = 0.587$ (重复测量两因素方差分析) MFC:中频段微波动能量

表 5 3 个组受试者在不同阅读注视距离下 HFC 值 ($\bar{x} \pm s, D^2/Hz$)

组别	人数	不同阅读距离下 HFC 值		
		25 cm	33 cm	50 cm
正视眼组	19	0.005±0.002	0.004±0.001	0.003±0.002
初发性近视组	18	0.005±0.002	0.004±0.002	0.002±0.002
进展性近视组	17	0.005±0.003	0.004±0.002	0.002±0.001

注: $F_{\text{分组}} = 0.682, P > 0.05$; $F_{\text{阅读距离}} = 21.400, P < 0.01$; $F_{\text{交互作用}} = 0.100, P = 0.905$ (重复测量两因素方差分析) HFC:高频段微波动能量

2.2 像差

在高阶像差中,以球差、彗差和三叶草差与视觉质量关联最为密切。4 阶以后,无论是角膜还是全眼的高阶像差,随着阶数增加呈现出逐渐变小的趋势。同时,受试者的高阶像也表现出在较大个体差异,使得 4 阶以后的高阶像差逐渐趋于 0 (图 2,3)。

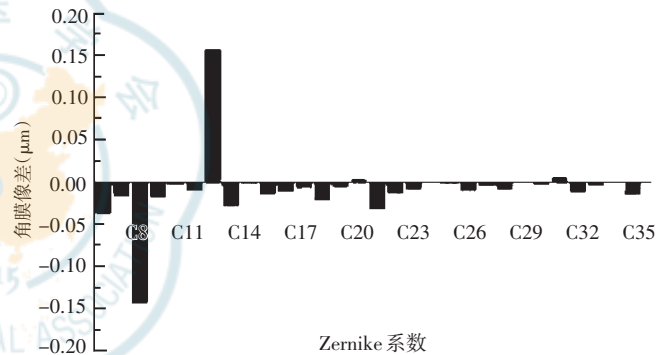


图 2 所有受试者角膜像差各项 Zernike 系数平均值

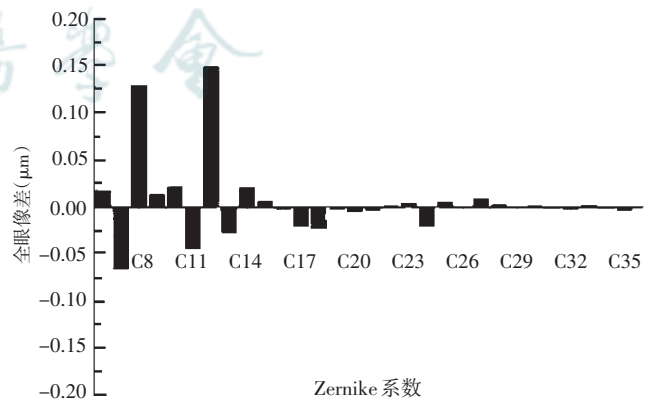


图 3 所有受试者全眼像差各项 Zernike 系数平均值

2.2.1 各组受试者角膜像差变化 正视眼组受试者的 2~7 阶角膜平均总像差 (去除 C4 离焦项)、3~7 阶高阶像差高于初发性近视组和进展性近视组,但总体比较差异均无统计学意义 ($F = 1.11, P = 0.34$; $F = 0.75, P = 0.48$)。此外,3 个组受试者的角膜球差 (C12)、彗差 (C7 和 C8 的平方和开根号) 以及三叶草差 (C6 和 C9 的平方

和开根号)总体差异均无统计学意义($F=0.27, P=0.76; F=0.12, P=0.89; F=0.06, P=0.95$)(表 6)。

表 6 3 个组受试者角膜像差比较($\bar{x}\pm s, \mu\text{m}$)

组别	人数	球差	彗差	三叶草差	总像差	总高阶像差
正视眼组	19	0.18±0.19	0.28±0.17	0.16±0.13	1.16±0.40	0.50±0.18
初发性近视组	18	0.16±0.10	0.27±0.19	0.16±0.06	1.11±0.33	0.47±0.22
进展性近视组	17	0.14±0.13	0.26±0.14	0.15±0.06	1.00±0.31	0.41±0.16
<i>F</i>		0.27	0.12	0.06	1.11	0.75
<i>P</i>		0.76	0.89	0.95	0.34	0.48

(单因素方差分析)

2.2.2 各组受试者全眼总像差变化 正视眼组、初发性近视组和进展性近视组受试者的 2~7 阶全眼平均总像差(去除 C4 离焦项)及 3~7 阶高阶像差总体比较差异均无统计学意义($F=0.84, P=0.44; F=0.74, P=0.48$);3 个组间受试者的角膜球差(C12)、彗差(C7 和 C8 的平方和开根号)以及三叶草差(C6 和 C9 的平方和开根号)总体差异均无统计学意义($F=0.52, P=0.58; F=1.84, P=0.17; F=0.19, P=0.83$)(表 7)。

表 7 3 个组受试者全眼总像差比较($\bar{x}\pm s, \mu\text{m}$)

组别	人数	球差	彗差	三叶草差	总像差	总高阶像差
正视眼组	19	0.18±0.09	0.20±0.09	0.18±0.11	0.70±0.26	0.39±0.09
初发性近视组	18	0.14±0.10	0.26±0.12	0.20±0.14	0.68±0.34	0.41±0.17
进展性近视组	17	0.11±0.08	0.27±0.16	0.20±0.13	0.83±0.42	0.43±0.20
<i>F</i>		0.52	1.84	0.19	0.84	0.74
<i>P</i>		0.58	0.17	0.83	0.44	0.48

(单因素方差分析)

2.2.3 各组受试者眼内像差变化 正视眼组、初发性近视组和进展性近视组间受试者的 2~7 阶平均总眼内像差(去除 C4 离焦项)和眼内 3~7 阶平均高阶像差均接近,差异均无统计学意义($F=0.49, P=0.62; F=0.22, P=0.81$)。3 个组间受试者的角膜球差(C12)、彗差(C7 和 C8 的平方和开根号)以及三叶草差(C6 和 C9 的平方和开根号)总体差异比较均无统计学意义($F=0.39, P=0.68; F=0.03, P=0.97; F=0.74, P=0.48$)(表 8)。

表 8 3 个组受试者眼内像差比较($\bar{x}\pm s, \mu\text{m}$)

组别	人数	球差	彗差	三叶草差	总像差	总高阶像差
正视眼组	19	0.01±0.21	0.45±0.20	0.30±0.21	0.96±0.30	0.67±0.18
初发性近视组	18	-0.01±0.13	0.45±0.29	0.25±0.10	1.04±0.37	0.61±0.31
进展性近视组	17	0.02±0.17	0.42±0.23	0.29±0.17	1.04±0.44	0.62±0.24
<i>F</i>		0.39	0.03	0.74	0.49	0.22
<i>P</i>		0.68	0.97	0.48	0.62	0.81

(单因素方差分析)

2.3 受试者各测量参数间的关系

在 25 cm 及 33 cm 阅读距离下, LFC 值与角膜彗差、眼内彗差、全眼总高阶像差和眼内总高阶像差均呈中度正相关(25 cm: $r=0.37, P=0.00; r=0.34, P=0.13; r=0.29, P=0.03; r=0.30, P=0.03$ 。33 cm: $r=0.32, P=0.02; r=0.33, P=0.01; r=0.29, P=0.03$), LFC 值与全眼彗差和眼内球差值均呈正相关($r=0.32, P=0.00; r=0.39, P=0.03$)。在 50 cm 阅读距离下, LFC 值与眼球各像差无相关性,而 MFC 和 HFC 值与各像差间均无相关性。

3 讨论

本研究中测量了青少年正视眼和近视眼阅读状态下的调节反应及调节微波动,结果显示青少年进展性近视眼的调节反应显著低于正视眼,而调节微波动 LFC 能量高于正视眼。有研究发现,当进行阅读或者注视单个静止视标时,近视眼的调节微波动均大于正视眼^[2,6-7]。调节波动性可以反映出调节系统对离焦的敏感性,若调节微波动异常增大,则系统需要接收更多的离焦刺激才可以触发正常的调节反应,即调节滞后。有报道称近视眼对离焦的敏感性低于正视眼,模糊敏感性下降是导致近视的潜在诱因^[8-9]。青少年正视眼和近视眼调节反应及调节微波动的差异可能源自其焦深不同,调节滞后、调节波动增大仅出现在青少年进展性近视眼,但在初发性近视眼中未发现,提示这种调节的变化可能是近视发展带来的后果而非近视发生的原因。此外,本研究中发现在正视眼、初发性近视眼和进展性近视眼间 MFC 和 HFC 能量变化无明显差别,波动能量的差异主要集中在 LFC,推测近视眼调节反应低于正视眼,可能与调节信号传递的差异有关。已有研究表明在调节微波动能量中, LFC 能量随着外界调节刺激的变化而改变,是调节控制系统中传递负反馈信号的主要成分;而 MFC 和 HFC 则可能与人体某些节律性活动,如脉搏带来的干扰信号有关^[10]。

虽然调节微波动理论的提出已经有 80 年之久,但是目前研究者们对其作用仍知之甚少。不少学者认为,调节微波动可能是调节控制系统的组成部分,在建立及维持视网膜成像中发挥重要作用^[11]。在观察静止的物体时,眼调节在波动过程中不断在视网膜产生离焦信号,这些信号可为人眼调节系统提供负反馈信息,维持调节的稳定性^[8,10];而在观察动态物体时,调节微波动可以为人眼的动态调节提供方向性线索^[12]。研究者认为,调节微波动与近视的发生和发展之间也可能存在一定联系^[2]。调节波动变大时,即使调节滞

后量处于正常范围,波动引起的远视性离焦也可能是导致眼轴增长的诱因。调节波动性也可以反映出调节系统对离焦的敏感性,若调节微波动异常增大,则系统需要接收更多的离焦刺激才可以触发正常的调节反应。此外,波动发生异常增大,还可引起视网膜成像稳定性的下降,可能导致人眼向近视化方向发展^[6]。

像差可以降低视觉系统的成像质量,使得人眼对模糊信号的耐受能力增加,是影响系统焦深的因素之一^[13]。Gambra 等^[14]利用自适应光学系统改变人眼原始波前像差的过程中发现,当额外波前像差引入人眼后,调节微波动也有增加的趋势,推测进展性近视调节微波动大于正视眼,可能与正视眼和近视眼本身像差的差异有关。然而,关于屈光度与像差的研究却不支持这一观点。Cheng 等^[15]研究发现,屈光度与眼球 3 阶、4 阶以及总高阶像差之间均不存在相关性,另外一些研究虽然认为正视眼和近视眼像差存在差异,但是哪一类像差更大尚无定论,甚至有学者认为近视眼像差小于正视眼^[16-17]。本研究中对青少年的正视眼、初发性近视眼和进展性近视眼角膜、眼内以及全眼像差与各注视距离下调节变异度和调节微波动之间的关系进行研究,结果显示全眼像差与 25 cm 以及 33 cm 下调节微波动 LFC 能量之间存在线性关系;而 3 种研究对象的角膜像差、眼内像差以及全眼像差差异均无统计学意义,提示仅从像差的角度无法完全解释调节微波动的变化。

本研究结果提示,与正视及近视初发期青少年相比,近视进展期的青少年调节明显滞后,调节微波动增大,而 3 个组青少年眼内角膜及全眼像差无明显差别,提示 3 个组人群调节系统的这种差异受多个因素的影响,仅从人眼波前像差的角度是无法完全解释的。

参考文献

- [1] Collins M. The electronic refractometer[J]. Br J Physiol Opt, 1937, 1: 30-42.
[2] Harb E, Thorn F, Troilo D. Characteristics of accommodative behavior

- during sustained reading in emmetropes and myopes[J]. Vision Res, 2006, 46(16): 2581-2592. doi:10.1016/j.visres.2006.02.006.
[3] Gray LS, Winn B, Gilmartin B. Accommodative microfluctuations and pupil diameter[J]. Vision Res, 1993, 33(15): 2083-2090. doi:10.1016/0042-6989(93)90007-J.
[4] Pugh JR, Eadie AS, Winn B, et al. Power spectrum analysis in the study of ocular mechanisms[J]. Ophthalmic Physiol Opt, 1987, 7(3): 321-324.
[5] Thibos LN, Applegate RA, Schwiegerling JT, et al. Standards for reporting the optical aberrations of eyes[J]. J Refract Surg, 2002, 18(5): S652-660.
[6] Langaas T, Riddell PM, Svarverud E, et al. Variability of the accommodation response in early onset myopia[J]. Optom Vis Sci, 2008, 85(1): 37-48. doi:10.1097/OPX.0b013e31815ed6e9.
[7] Day M, Strang NC, Seidel D, et al. Refractive group differences in accommodation microfluctuations with changing accommodation stimulus[J]. Ophthalmic Physiol Opt, 2006, 26(1): 88-96. doi:10.1111/j.1475-1313.2005.00347.x.
[8] Jiang BC. Integration of a sensory component into the accommodation model reveals differences between emmetropia and late-onset myopia[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 1997, 38(8): 1511-1516.
[9] Vera-Diaz FA, Gwiazda J, Thorn F, et al. Increased accommodation following adaptation to image blur in myopes[J]. J Vis, 2004, 4(12): 1111-1119. doi:10.1167/4.12.10.
[10] Winn B, Pugh JR, Gilmartin B, et al. Arterial pulse modulates steady-state ocular accommodation[J]. Curr Eye Res, 1990, 9(10): 971-975. doi:10.3109/02713689009069933.
[11] Yao P, Lin H, Huang J, et al. Objective depth-of-focus is different from subjective depth-of-focus and correlated with accommodative microfluctuations[J]. Vision Res, 2010, 50(13): 1266-1273. doi:10.1016/j.visres.2010.04.011.
[12] Day M, Strang NC, Seidel D, et al. Refractive group differences in accommodation microfluctuations with changing accommodation stimulus[J]. Ophthalmic Physiol Opt, 2006, 26(1): 88-96. doi:10.1111/j.1475-1313.2005.00347.x.
[13] Nio YK, Jansonius NM, Fidler V, et al. Spherical and irregular aberrations are important for the optimal performance of the human eye[J]. Ophthalmic Physiol Opt, 2002, 22(2): 103-112. doi:10.1046/j.1475-1313.2002.00019.x.
[14] Gambra E, Sawides L, Dorransoro C, et al. Accommodative lag and fluctuations when optical aberrations are manipulated[J]. J Vis, 2009, 9(6): 1-15. doi:10.1167/9.6.4.
[15] Cheng X, Bradley A, Hong X, et al. Relationship between refractive error and monochromatic aberrations of the eye[J]. Optom Vis Sci, 2003, 80(1): 43-49. doi:10.1097/00006324-200301000-00007.
[16] Collins MJ, Wildsoet CF, Atchison DA. Monochromatic aberrations and myopia[J]. Vision Res, 1995, 35(9): 1157-1163. doi:10.1016/0042-6989(94)00236-F.
[17] He JC, Sun P, Held R, et al. Wavefront aberrations in eyes of emmetropic and moderately myopic school children and young adults[J]. Vision Res, 2002, 42(8): 1063-1070. doi:10.1016/S0042-6989(02)00035-4.

(收稿日期:2015-03-05)

(本文编辑:刘艳 张宇)

消息

互联网+少年儿童眼健康管理——天津医科大学眼科医院第五届 少年儿童眼保健继教培训通知

互联网+少年儿童眼健康管理——天津医科大学眼科医院第五届少年儿童眼保健继教培训将于 2015 年 9 月 18—20 日在天津医科大学眼科医院三楼林少明国际报告厅举行。会议将对话国内外少年儿童眼科与眼视光专家学者,探讨“互联网+”模式下的新思维、新方式、新做法,助推基层少年儿童眼健康事业发展。本次培训可获得国家级医学继续教育学分 6 分。联系人:王老师、林老师。联系电话:022-87931877、13034372629。

(天津医科大学眼科医院)