

引文格式:宋爱萍,于涛,卓建,曲鹏.近视患者黄斑区视网膜多焦视网膜电图和光学相干断层扫描的评估和分析[J].  
眼科新进展,2019,39(3):255-259. doi:10.13389/j.cnki.rao.2019.0057

【应用研究】

# 近视患者黄斑区视网膜多焦视网膜电图和光学相干断层扫描的评估和分析<sup>△</sup>

宋爱萍 于涛 卓建 曲鹏

作者简介:宋爱萍,女,1978年7月出生,山东威海人,博士。联系电话:0531-89268519; E-mail: sapwl@hotmail.com; ORCID: 0000-0002-0081-4368

About SONG Ai-Ping: Female, born in July, 1978. Medical doctor. Tel: +86-531-89268519; E-mail: sapwl@hotmail.com; ORCID: 0000-0002-0081-4368

收稿日期:2018-05-16  
修回日期:2018-07-23  
本文编辑:盛丽娜

△基金项目:山东省医药卫生科技发展计划项目资助(编号:2017WSB04066)

作者单位:250000 山东省济南市,山东省千佛山医院眼科

通讯作者:卓建, E-mail: 1151385662@qq.com; ORCID: 0000-0002-5679-8539

Received date: May 16, 2018  
Accepted date: Jul 23, 2018

Foundation item: Foundation for Medical Health Technology Development Plan of Shandong Province (No: 2017WSB04066)

From the Department of Ophthalmology, Shandong Provincial Qianfoshan Hospital, Jinan 250000, Shandong Province, China

Responsible author: ZHUO Jian, E-mail: 1151385662@qq.com; ORCID: 0000-0002-5679-8539

## Evaluation and analysis of macular retina by multifocal electroretinogram and optical coherence tomography in myopia

SONG Ai-Ping, YU Tao, ZHUO Jian, QU Peng

**[Abstract] Objective** To investigate the changes of macular retinal function and structure in myopic subjects using multifocal electroretinography (mfERG) and optical coherence tomography (OCT). **Methods** One hundred and thirteen subjects (113 eyes) with age ranging from 18 to 35 years old were enrolled in the study. The subjects were divided into four groups according to spherical equivalent (SE) and axial length (AL): emmetropia (E) group ( $n=31$ ; SE: +0.75 to -0.50 D; AL: 22 to 24 mm), low and medium myopia (LMM) group ( $n=26$ ; SE: > -0.50 to -6.00 D; AL: > 24 to 26 mm), high myopia (HM) group ( $n=34$ ; SE: > -6.00 to -10.00 D; AL: > 26 to 28 mm) and super high myopia (SHM) group ( $n=22$ ; SE: > -10.00 D; AL: = 28 mm). The changes of macular retinal function and the central subfield macular thickness (CST) were obtained using mfERG and OCT. **Results** As the degree of myopia increased, the average response density values of the P1 waves of each ring gradually decreased. The differences of the mean response density values of P1 waves of 1-3 ring among different groups were significantly different (all  $P<0.01$ ). As the degree of myopia increased, the amplitudes of the P1 waves of each ring gradually decreased. The differences of the amplitudes of P1 waves of 1-5 ring among different groups were significantly different (all  $P<0.01$ ). As the degree of myopia increased, the latency of the P1 wave was gradually increased. The differences of the latencies of P1 waves of 1-3 ring among different groups were significantly different (all  $P<0.01$ ). As the degree of myopia increased, the CST increased ( $P<0.001$ ). The CST was negatively correlated with the average response density and the sum amplitude of the P1 wave of 1 ring ( $r=-0.261, -0.402; P=0.003, P<0.001$ ), and positively correlated with the P1 wave latency ( $r=0.340, P<0.001$ ). **Conclusion** As the degree of myopia increases, the CST increases and the function of the retina declines.

**[Key words]** multifocal electroretinogram; optical coherence tomography; myopia, macula

**【摘要】 目的** 使用多焦视网膜电图和光学相干断层扫描对近视患者黄斑区视网膜进行评估和分析。**方法** 符合入选条件的113例113眼,根据屈光度数和眼轴长度分为四组:正视组31例(31眼),等效球镜度数为+0.75~-0.50 D,且眼轴长度为22~24 mm;低中度近视组26例(26眼),等效球镜度数为>-0.50~-6.00 D,且眼轴长度为>24~26 mm;高度近视组34例(34眼),等效球镜度数为>-6.00~-10.00 D,且眼轴长度为>26~28 mm;超高度近视组22例(22眼),等效球镜度数>-10.00 D,且眼轴长度>28 mm。使用多焦视网膜电图和光学相干断层扫描对入选患者黄斑区视网膜功能和厚度进行测量。**结果** 随着近视程度的增加,各环P1波反应密度值逐渐减小,1环、2环、3环不同程度近视组间P1波反应密度差异均有统计学意义(均为 $P=0.00$ )。随着近视程度的增加,各环P1波振幅总和均逐渐减小,1~5环不同程度近视组间P1波振幅总和差异均有统计学意义(均为 $P=0.00$ )。随着近视程度的增加,P1波潜伏期逐渐延长,1环、2环、3环不同程度近视组间P1波潜伏期差异均有统计学意义(均为 $P=0.00$ )。随着近视程度的增加,黄斑中心凹视网膜厚度增加( $P<0.001$ )。黄斑中心凹视网膜厚度与P1波反应密度呈负相关( $r=-0.261, P=0.003$ ),与P1波振幅总和呈负相关( $r=-0.402, P<0.001$ ),与P1波潜伏期呈正相关( $r=0.340, P<0.001$ )。**结论** 随着近视程度的增加,黄斑中心凹视网膜厚度增加,视网膜功能下降。

**【关键词】** 多焦视网膜电图;光学相干断层扫描;近视;黄斑

**【中图分类号】** R778.1

近视是最常见的眼部疾病。东亚地区近视发病率呈逐年增长的趋势<sup>[1-2]</sup>。成年中国人近视发病率高于非中国人<sup>[3]</sup>。眼轴变长是近视区别于正视的主要特点<sup>[4]</sup>。以往研究表明,伴随近视出现的眼轴增长可导致视网膜伸展<sup>[5]</sup>、变薄<sup>[6]</sup>。这些解剖学上的改变可导致视网膜功能受损,最终出现视力的改变<sup>[7]</sup>。多焦视网膜电图(multifocal electroretinogram, mfERG)是由 Suffer 和 Tran 于 1992 年首先描述并记录的<sup>[8]</sup>。mfERG 是视觉电生理技术的一次革命性发展。mfERG 可以同时记录不同视网膜小区域的局部视网膜电反应,能够为临床视网膜功能病变的检测提供更多的有效信息<sup>[9]</sup>。目前,有关近视患者 mfERG 改变的研究很少。本研究中我们比较了正视眼和近视眼 mfERG 的一阶反应,分析屈光度数和眼轴长度对 mfERG 一阶反应振幅和潜伏期的影响,同时将 mfERG 测得的功能改变与光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)的结构改变结合,以更全面解释近视患者视网膜的改变。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 2015 年 6 月至 12 月于我院眼科门诊筛选符合入选条件的 113 例 113 眼,男 57 例 57 眼,女 56 例 56 眼,年龄 18~35 岁。纳入标准:正视眼和轴性近视眼。轴性近视眼主要是由于眼轴延长导致的平行光线进入眼内后聚焦点位于视网膜之前,而其他屈光组织均未见明显异常的患眼。入选患者除屈光不正外无其他眼部疾病且最佳矫正视力(best corrected visual acuity, BCVA)大于 20/25。排除标准:(1)屈光性近视(由于眼内屈光成分异常或屈光成分的组合异常引起的平行光线经屈光组织折射后焦点位于视网膜之前);(2)青光眼;(3)屈光间质明显混浊,如明显的晶状体或玻璃体混浊影响眼底检查;(4)既往有激光或内眼手术史;(5)合并明显全身疾病和颅内疾病;(6)固视功能太差影响检查;(7)其他原发性视网膜、黄斑及玻璃体疾病。两眼均满足入选标准的患者随机挑选一眼进行检查。本研究符合赫尔辛基宣言,并经山东省千佛山医院伦理委员会同意。所有入选患者均签署知情同意书。

**1.2 分组** 入选患者根据屈光度数和眼轴长度分为四组:正视组 31 例 31 眼,等效球镜度数为 +0.75~-0.50 D,且眼轴长度为 22~24 mm;低中度近视组 26 例 26 眼,等效球镜度数为 >-0.50~-6.00 D,且眼轴长度为 >24~26 mm;高度近视组 34 例 34 眼,等效球镜度数为 >-6.00~-10.00 D,且眼轴长度为 >26~28 mm;超高度近视组 22 例 22 眼,等效球镜度数为 >-10.00 D,且眼轴长度 >28 mm。

**1.3 方法** 所有入选患者均进行完整的眼科检查,包括:裸眼视力(国际标准视力表,兖州市通用医疗器械厂)、裂隙灯(德国 Carl Zeiss Meditec AG, SL-115

型)眼前节检查、综合验光(综合验光台,日本 Topcon, OS300 型)、眼压(Goldmann 压平式眼压计,德国 Carl Zeiss Meditec AG, AT20)、房角镜(美国 Volk Co)检查、Humphrey750 全自动计算机视野分析仪(德国 Carl Zeiss Meditec AG, HF II 750 型)检查和散瞳眼底检查(90 D 前置镜,美国 Volk Co)。此外,所有患眼均行 IOLMaster 检查、mfERG 检查和 OCT 检查。

**1.3.1 IOL Master 检查** 使用 IOL Master(德国 Carl Zeiss Meditec)进行眼轴长度的测量。患者注视设备内注视点,测量 3 次取平均值。

**1.3.2 OCT 检查** 使用 Cirrus HD OCT(德国 Carl Zeiss Meditec, Inc, Cirrus HD-OCT4000, Soft version6.0)检测黄斑中心凹视网膜厚度。采用黄斑立方体 512×128 程序。其中光源波长 840 nm,轴向分辨率 5 μm,横向分辨率 20 μm,扫描速度为每秒 27 000 次 A 扫描,扫描深度 2 mm,扫描范围 6 mm×6 mm。检查前由检查者对患者描述检查的过程和需要注意的事项,获得患者的同意后开始检测。该检测不需散瞳,患者保持坐位,下颌放于下颌托上,额头顶住额头带,注视镜头内的注视点,即采用内注视的方法。由内在软件自动检测并显示正确的视网膜层次。所有检查均由同一位操作者在同一条件下完成。

**1.3.3 mfERG 检测** 应用德国 Roland 公司生产的 RETIscan 视觉诱发检查系统行 mfERG 检测。RETIscan 视觉诱发检查系统配备有高亮度、高刷新频率的 21 英寸黑白监视器作为刺激器。刺激器的帧频为 60 Hz,刺激范围约 30°。屏幕的最大亮度为 100 cd·m<sup>-2</sup>,最小亮度为 3 cd·m<sup>-2</sup>,对比度为 97%。刺激图形为 61 个等大的六边形,呈向心性分布。通频带为 5~100 Hz,反应采样频率为 1000 Hz,即两次反应的间隔时间为 0.98 ms。

受检查者在普通室光中适应 15 min,检查前 12 h 应避免行眼底检查或眼底照像。给予复方托吡卡胺散瞳,使瞳孔直径≥8 mm。给予盐酸丁卡因滴眼液滴眼 2~3 次,角膜表面浸润麻醉后置入 Jet 接触镜记录电极。银盘状参考电极置于同侧外眦部皮肤,地电极置于额部皮肤。将受试者的头部置于颊托架上,检查眼注视固定点启动刺激系统,如出现干扰信号大的小段则需删除。嘱受试者专心注视屏幕中央的红色十字叉并不要眨眼。反应阶数选用一阶反应波形和数值。记录一阶反应第一个正向波(P1)的振幅、潜伏期和反应密度。P1 波的振幅是指从第一个负向波的波谷到正向波的波峰的距离。P1 波的潜伏期是指从刺激开始到第一个尖峰应答的时间。mfERG 数据分成以黄斑中心凹为中心同心排列的五个环,1 环代表黄斑中心凹反应(中心 2.0°),2 环为 >2.0°~7.6°,3 环为 >7.6°~14.8°,4 环为 >14.8°~23.0°,5 环为 >23.0°~30.0°。

**1.4 统计学分析** 使用 SPSS 11.5 统计学软件进行

统计分析。采用单因素方差分析比较 5 个环形视网膜区域不同程度近视组间 P1 波反应密度、振幅总和和潜伏期的差异,并进一步采用 SNK 法进行两两比较。使用 Pearson 相关分析指标间的相关性。 $P < 0.05$  为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 一般状况 正视组、低中度近视组、高度近视组、超高度近视组的等效球镜度数和眼轴长度组间两两相比差异均有统计学意义(均为  $P < 0.001$ )。入选者的等效球镜度数与眼轴长度呈直线相关( $r = 0.782, P < 0.001$ )。各组间性别构成比、年龄和眼压差异均无统计学意义(均为  $P > 0.05$ )。见表 1。

2.2 各组 P1 波的反应密度 各组五个环 mfERG

一阶反应 P1 波反应密度值比较显示,随着近视程度的增加,各环 P1 波反应密度值逐渐减小。单因素方差分析显示,1 环、2 环、3 环不同程度近视组间 P1 波反应密度差异均有统计学意义(均为  $P = 0.00$ )。SNK 检验显示,1 环 P1 波反应密度各组间两两比较差异均有统计学意义(均为  $P < 0.05$ );2 环 P1 波反应密度正视组、低中度近视组、高度近视组 3 组间差异均无统计学意义(均为  $P > 0.05$ ),3 组与超高度近视组相比差异均有统计学意义(均为  $P < 0.01$ );3 环 P1 波反应密度正视组、低中度近视组与超高度近视组间差异均有统计学意义(均为  $P < 0.05$ ),其余组间两两相比差异均无统计学意义(均为  $P > 0.05$ );4 环、5 环 P1 波反应密度各组间差异均无统计学意义(均为  $P > 0.05$ )。见表 2。

表 1 各组患者基本情况比较

项目	正视组	低中度近视组	高度近视组	超高度近视组	P 值
等效球镜度数/D	0.00 ± 0.04 (+0.25 ~ -0.50)	-2.49 ± 1.38 (-4.80 ~ -0.75)	-8.53 ± 1.95 (-6.00 ~ -9.75)	-13.88 ± 1.76 (-10.75 ~ -17.75)	<0.001
眼轴长度/mm	23.60 ± 0.65 (23.17 ~ 24.04)	24.39 ± 0.75 (24.72 ~ 25.26)	26.73 ± 0.97 (26.45 ~ 27.34)	29.98 ± 1.08 (28.20 ~ 31.20)	<0.001
性别(男/女)	14/17	16/10	18/16	9/13	0.41
年龄/岁	24.48 ± 5.41	26.62 ± 5.38	24.33 ± 5.70	25.82 ± 5.68	0.35
眼压/mmHg	13.7 ± 2.4	13.5 ± 2.2	14.1 ± 2.5	14.0 ± 2.2	0.76

注:1 kPa = 7.5 mmHg

表 2 各组患者 P1 波反应密度比较

组别	n	P1 波反应密度/nV · deg <sup>-2</sup>				
		1 环	2 环	3 环	4 环	5 环
正视组	31	130.00 ± 27.89	65.13 ± 11.89	43.09 ± 10.78	26.42 ± 7.42	19.89 ± 6.19
低中度近视组	26	114.00 ± 25.08	60.87 ± 12.56	40.87 ± 9.56	25.78 ± 8.24	19.08 ± 6.48
高度近视组	34	95.40 ± 24.18	58.64 ± 15.34	37.54 ± 9.89	24.87 ± 8.76	18.87 ± 6.57
超高度近视组	22	72.10 ± 22.78	46.84 ± 16.35	32.65 ± 9.56	23.78 ± 9.58	18.54 ± 6.98
P 值		0.00	0.00	0.00	0.70	0.88

2.3 各组 P1 波振幅总和 各组五个环 mfERG 一阶反应 P1 波振幅总和的比较显示,随着近视程度的增加,各环 P1 波振幅总和均逐渐减小。单因素方差分析显示,1 ~ 5 环不同程度近视组间 P1 波振幅总和

差异均有统计学意义(均为  $P = 0.00$ )。两两比较结果显示,除高度近视组和超高度近视组外,其余各组间 1 ~ 5 环 P1 波振幅总和和两两比较差异均有统计学意义(均为  $P < 0.05$ )。见表 3。

表 3 各组患者 P1 波振幅总和比较

组别	n	P1 波振幅总和/μV				
		1 环	2 环	3 环	4 环	5 环
正视组	31	1.73 ± 0.44	1.31 ± 0.26	1.16 ± 0.28	1.09 ± 0.2	1.09 ± 0.38
低中度近视组	26	1.28 ± 0.37	1.09 ± 0.23	1.02 ± 0.2	0.91 ± 0.21	0.98 ± 0.21
高度近视组	34	0.98 ± 0.42	0.78 ± 0.36	0.76 ± 0.34	0.71 ± 0.28	0.68 ± 0.23
超高度近视组	22	0.93 ± 0.37	0.72 ± 0.28	0.71 ± 0.31	0.67 ± 0.27	0.63 ± 0.2
P 值		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

2.4 各组 P1 波潜伏期 各组五个环 mfERG 一阶反应 P1 波潜伏期的比较显示,随着近视程度的增加,P1 波潜伏期逐渐延长。单因素方差分析显示,1 环、2 环、3 环不同程度近视组间 P1 波潜伏期差异均有统计学意义(均为  $P = 0.00$ )。两两比较显示,

1 ~ 3 环正视组、低中度近视组、高度近视组与超高度近视组 P1 潜伏期的差异均有统计学意义(均为  $P < 0.05$ ),其余组间两两相比差异均无统计学意义(均为  $P > 0.05$ )。见表 4。

表 4 各组患者 P1 波潜伏期比较

组别	n	P1 波潜伏期/ms				
		1 环	2 环	3 环	4 环	5 环
正视组	31	39.20 ± 7.53	35.60 ± 5.93	34.90 ± 5.34	37.00 ± 1.98	36.77 ± 2.10
低中度近视组	26	40.20 ± 6.46	38.50 ± 5.67	36.85 ± 3.10	37.10 ± 3.76	36.80 ± 2.33
高度近视组	34	42.50 ± 3.91	40.10 ± 3.21	38.10 ± 2.33	37.23 ± 3.70	37.98 ± 3.60
超高度近视组	22	47.00 ± 3.15	43.10 ± 2.79	40.10 ± 3.28	38.20 ± 4.10	38.56 ± 3.30
P 值		0.00	0.00	0.00	0.65	0.07

2.5 各组黄斑中心凹视网膜厚度及相关性分析

正视组、低中度近视组、高度近视组、超高度近视组的黄斑中心凹视网膜厚度分别为(241.56 ± 12.72) μm、(244.56 ± 12.19) μm、(254.33 ± 11.61) μm、(261.75 ± 11.83) μm。随着近视程度的增加,黄斑中心凹视网膜厚度增加( $P < 0.001$ )。相关性分析结果显示,黄斑中心凹视网膜厚度与 P1 波反应密度值呈负相关( $r = -0.261, P = 0.003$ ),与 P1 波振幅总和呈负相关( $r = -0.402, P < 0.001$ ),与 P1 波潜伏期呈正相关( $r = 0.340, P < 0.001$ )。

3 讨论

视网膜电图(electroretinography, ERG)是一种能够客观检测视网膜功能变化的视觉电生理技术。检查方法包括闪光 ERG、图形 ERG 和 mfERG。闪光 ERG 能够反映整个视网膜的功能,缺点是难以从反应波形中确定病变具体部位,并且对微小病灶不敏感;图形 ERG 可通过记录局部视网膜电反应反映黄斑区视网膜功能的变化,但记录的时间较长、反应振幅小、干扰因素比较多;mfERG 可以在较短时间内客观准确地记录后极部视网膜 30° 区域内的视功能变化,并可对异常视网膜功能区域进行精确定位,因此可用于定量检测黄斑区视网膜功能变化<sup>[9-10]</sup>。

临床上利用 mfERG 检测视网膜功能要考虑年龄因素的影响<sup>[11]</sup>。Anzai 等<sup>[12]</sup>分别对年轻和老年健康受检查者行 mfERG 检测,发现不同年龄组间 mfERG 的 N1 波和 P1 波的振幅与潜伏期差异有统计学意义。老年人 mfERG 的反应密度明显低于年轻人,尤其在黄斑中心凹降低最多<sup>[11]</sup>。Wu 等<sup>[13]</sup>通过比较 <50 岁和 ≥50 岁两个年龄组 mfERG 的 N1 波、P1 波和 N2 波的振幅均值,发现 ≥50 岁年龄组的各项振幅值均小于 <50 岁年龄组,认为这可能与视细胞随年龄增长反应变慢有关。而以往的研究中,有关近视对 mfERG 影响的报道均未见考虑年龄因素的影响。本研究为避免年龄因素对研究结果的影响,纳入的受检查者均为 18 ~ 35 岁的青少年,因此我们的研究结果主要体现了不同程度近视对 mfERG 的影响。

随着屈光度的增加,各环 P1 波振幅逐渐下降,单因素方差分析结果显示,1 ~ 5 环不同程度近视组间 P1 波振幅总和和差异均有统计学意义(均为  $P = 0.00$ )。随着近视程度的增加,P1 波潜伏期逐渐延

长,单因素方差分析结果显示,1 环、2 环、3 环不同程度近视组间 P1 波潜伏期差异均有统计学意义(均为  $P < 0.01$ ),4 环、5 环 P1 波潜伏期不同程度近视组间差异均无统计学意义(均为  $P > 0.05$ )。以上结果说明振幅的下降较潜伏期的延长更加敏感,振幅介导的反应信息比潜伏期异常程度反应明显。

对于近视患者,mfERG 与 OCT 检查结果的对比研究非常少,本研究分析了黄斑中心凹视网膜厚度和 mfERG P1 波各指标的关系,结果显示,黄斑中心凹视网膜厚度与 P1 波振幅、P1 波反应密度之间呈负相关,与 P1 波潜伏期之间存在正相关关系。我们的研究表明,黄斑中心凹视网膜厚度与视网膜功能改变相关。mfERG 的一级反应主要检测外层视网膜功能,特别是锥形细胞的功能。黄斑中心凹视网膜厚度增加的原因是光感受器细胞外节的延伸<sup>[14]</sup>。Li 等<sup>[15]</sup>研究发现,随着眼轴长度的增长黄斑中心凹视锥细胞密度下降。由于眼轴的增长,视网膜外层缺血和视网膜循环障碍导致黄斑中心凹感光细胞密度降低<sup>[16]</sup>。Azad 等<sup>[17]</sup>研究表明,黄斑中心凹视网膜厚度和 mfERG 参数之间无显著相关性,其原因可能是研究对象没有包括近视患者。目前,mfERG 每个环与视网膜位置的对应关系尚无定论,因此研究周边视网膜功能与结构之间的关系是有限的。随着相关设备和软件的发展,未来有望实现对视网膜功能和结构变化的一致性研究。

有关近视眼 ERG 反应改变的原因有很多假说。Pallin<sup>[18]</sup>提出,近视眼 ERG 振幅下降是由于视网膜和电极间的阻力增加导致的。Doslak<sup>[19]</sup>研究发现,硅油眼患者 ERG 振幅下降,从而支持 Pallin 的理论。Chen 等<sup>[20]</sup>认为,近视眼 ERG 振幅的下降是由于眼轴长度增加可以增大视网膜下间隙,并造成视网膜细胞形态的改变,这可能造成电阻增加和光感受器对反应的降低,从而降低 ERG 的振幅<sup>[21]</sup>。Chen 等<sup>[20]</sup>认为,mfERG 振幅的降低和潜伏期的延长是由于视锥细胞功能的丧失导致的。其他可能存在的参与近视眼视网膜功能改变的机制是多巴胺系统的变化<sup>[22-23]</sup>,如在形觉剥夺性近视患者中观察到多巴胺水平的降低<sup>[24-25]</sup>。多巴胺可以调节神经节细胞的应答,改变对比敏感度<sup>[26]</sup>。本研究中,通过对不同程度近视患者 mfERG 与 OCT 检测结果的对比研究,我们发现黄斑中心凹视网膜厚度增加,说明近视患者黄斑中心凹视细胞尤其是视锥细胞外节延长,这是

导致 P1 波反应密度和振幅总和减小,潜伏期延长的原因。

总之,应用 mfERG 与 OCT 的结合,我们发现近视患者的视网膜结构和功能均发生了变化。这为临床预防近视并发症,并为早期治疗提供了客观依据。随着设备和软件的进一步开发,有望实现周边视网膜功能和结构的一致性研究,从而为近视患者视网膜改变提供新的依据。

## 参考文献

- [1] HE M, ZHENG Y, XIANG F. Prevalence of myopia in urban and rural children in mainland China[J]. *Optom Vis Sci*, 2009, 86(1): 40-44.
- [2] LOW W, DIRANI M, GAZZARD G, CHAN Y H, ZHOU H J, SELVARAJ P, *et al*. Family history, near work, outdoor activity, and myopia in Singapore Chinese preschool children[J]. *Br J Ophthalmol*, 2010, 94(8): 1012-1016.
- [3] PAN C W, ZHENG Y F, ANUAR A R, CHEW M, GAZZARD G, AUNG T, *et al*. Prevalence of refractive errors in a multiethnic Asian population; the Singapore epidemiology of eye disease study[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2013, 54(4): 2590-2598.
- [4] ATCHISON D A, JONES C E, SCHMID K L, PRITCHARD N, POPE J M, STRUGNELL W E, *et al*. Eye shape in emmetropia and myopia[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2004, 45(10): 3380-3386.
- [5] CHENG S C, LAM C S, YAP M K. Retinal thickness in myopic and non-myopic eyes[J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2010, 30(6): 776-784.
- [6] ABBOTT C J, GRUNERT U, PIAITA M J, MCBRIEN N A. Retinal thinning in tree shrews with induced high myopia; optical coherence tomography and histological assessment[J]. *Vision Res*, 2011, 51(3): 376-385.
- [7] WOLSLEY C J, SAUNDERS K J, SILVESTRI G, AUDERSON R S. Investigation of changes in the myopic retina using multifocal electroretinograms, optical coherence tomography and peripheral resolution acuity[J]. *Vision Res*, 2008, 48(14): 1554-1561.
- [8] FORTUNE B, JOHNSON C A. Decline of photopic multifocal electroretinogram responses with age is due primarily to pre-retinal optical factors[J]. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*, 2002, 19(1): 173-184.
- [9] SUN X Y, LI J J, WANG Y, XU L. The effects of myopia on first-order kernels responses of multifocal electroretinogram[J]. *Chin J Ocul Fundus Dis*, 2006, 22(2): 103-105.
- [10] LUU C D, LAU A M, LEE S Y. Multifocal electroretinogram in adults and children with myopia[J]. *Arch Ophthalmol*, 2006, 124(3): 328-334.
- [11] LANGROVA H, ZRENNER E, KURTENBACH A, SEELIGER M W. Age-related changes in retinal function tomography[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2008, 49(11): 5024-5032.
- [12] ANZAI K, MORI K, OTA M, MURAYAMA K, YONEYA S. Aging of macular function as seen in multifocal electroretinograms[J]. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi*, 1998, 102(1): 49-53.
- [13] WU D Z, LIANG J, MA J. The characteristics of multifocal electroretinogram in normal subjects in China[J]. *Chin J Ophthalmol*, 2001, 37(2): 98-103.
- [14] LIANG H, CREWETHER D P, CREWETHER S G, BARILA A M. A role for photoreceptor outer segments in the induction of deprivation myopia[J]. *Vision Res*, 1995, 35(9): 1217-1225.
- [15] LI K Y, TIRUVEEDHULA P, ROORDA A. Intersubject variability of foveal cone photoreceptor density in relation to eye length[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2010, 51(12): 6858-6867.
- [16] PARK S, KIM S H, PARK T K, OHN Y H. Evaluation of structural and functional changes in non-pathological myopic fundus using multifocal electroretinogram and optical coherence tomography[J]. *Doc Ophthalmol*, 2013, 126(3): 199-210.
- [17] AZAD R, GHATAK U, SHARMA Y R, CHANDRA P. Multifocal electroretinogram in normal emmetropic subjects: correlation with optical coherence tomography[J]. *Indian J Ophthalmol*, 2012, 60(1): 49-52.
- [18] PALLIN O. Influence of axial length of the eye on the size of the recorded b-potential in the clinical single-flash electroretinogram[J]. *Acta Ophthalmol*, 1969, 47(Suppl): 1-57.
- [19] DOSLAK M J. A theoretical study of the effect of silicone oil on the electroretinogram[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 1988, 29(12): 1881-1884.
- [20] CHEN J F, ELSNER A E, BURNS S A, HANSEN R M, LOU P L, KWONG K K, *et al*. The effect of eye shape on retinal responses[J]. *Clin Vis Sci*, 1992, 7(6): 521-530.
- [21] ROHRER B, SPIRA A W, STELL W K. Apomorphine blocks form-deprivation myopia in chickens by a dopamine D2-receptor mechanism acting in retina or pigmented epithelium[J]. *Vis Neurosci*, 1993, 10(3): 447-453.
- [22] MORGAN I G. The biological basis of myopic refractive error[J]. *Clin Exp Optom*, 2003, 86(5): 276-288.
- [23] WALLMAN J, WINAWER J. Homeostasis of eye growth and the question of myopia[J]. *Neuron*, 2004, 43(4): 447-468.
- [24] STONE R A, LIN T, LATIES A M, IUVONE P M. Retinal dopamine and form-deprivation myopia[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1989, 86(2): 704-706.
- [25] SCHMID K L, WILDSOET C F. Inhibitory effects of apomorphine and atropine and their combination on myopia in chicks[J]. *Optom Vis Sci*, 2004, 81(2): 137-147.
- [26] WITKOVSKY P. Dopamine and retinal function[J]. *Doc Ophthalmol*, 2004, 108(1): 17-40.