

近视性豹纹状眼底改变的影像及功能学评估进展

钟燕¹, 张艳艳², 韩亚波³, 易全勇²

引用: 钟燕, 张艳艳, 韩亚波, 等. 近视性豹纹状眼底改变的影像及功能学评估进展. 国际眼科杂志 2023; 23(10): 1689-1694

基金项目: 浙江省基础公益研究专项 (No.LGF22H120013); 宁波市医学科技计划项目 (No.2021Y57); 2022 年度第一批宁波市鄞州区农社发展科技计划项目 (No.2022AS022)

作者单位: ¹(315010) 中国浙江省宁波市, 宁波大学附属第一医院健康管理中心; ²(315040) 中国浙江省宁波市眼科医院; ³(315400) 中国浙江省宁波市, 宁波大学附属阳明医院眼科

作者简介: 钟燕, 女, 在读硕士研究生, 住院医师, 研究方向: 病理近视。

通讯作者: 易全勇, 男, 博士, 主任医师, 硕士研究生导师, 研究方向: 玻璃体视网膜膜疾病. 1067572232@qq.com

收稿日期: 2022-11-15 修回日期: 2023-08-21

摘要

近视已成为全球性视觉损伤及致盲的严重负担, 世界卫生组织已经将近视的防治列入全球防盲计划之中。随着近视病程进展, 会出现多种眼部病理性改变, 从而导致视力损害, 严重者甚至致盲。目前, 近视患病率有增加和年轻化趋势, 病理性近视导致的社会问题也日益受到重视。其中豹纹状眼底是近视性眼底病变自然病程的最早期病变, 也是视网膜病变发展的一个重要临床标志。目前, 有几种不同的豹纹状眼底分级方法, 均是通过眼底彩照进行主观分级。通过检眼镜、眼底照相、光学相干断层扫描、视网膜电图及微视野等模式影像可联合观察豹纹状眼底的形态学特征和功能状况。本文将综述豹纹状眼底的影像学特征及常见应用, 以期对眼科临床提供相关参考。

关键词: 近视; 豹纹状眼底; 光学相干断层扫描; 视网膜电图; 眼底照相; 微视野

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.10.17

Progress in imaging and functional assessment of myopic fundus tessellation changes

Yan Zhong¹, Yan-Yan Zhang², Ya-Bo Han³, Quan-Yong Yi²

Foundation items: Basic Public Welfare Research Program of Zhejiang Province (No.LGF22H120013); Ningbo Medical Science and Technology Program (No.2021Y57); The First Batch of Ningbo Yinzhou District Agricultural Community Development Science and Technology Plan Projects in 2022 (No.2022AS022)

¹Health Management Center, the First Affiliated Hospital of Ningbo University, Ningbo 315010, Zhejiang Province, China; ²Ning Bo

Eye Hospital, Ningbo 315040, Zhejiang Province, China; ³Department of Ophthalmology, the Affiliated Yangming Hospital of Ningbo University, Ningbo 315400, Zhejiang Province, China

Correspondence to: Quan-Yong Yi. Ning Bo Eye Hospital, Ningbo 315040, Zhejiang Province, China. 1067572232@qq.com

Received: 2022-11-15 Accepted: 2023-08-21

Abstract

• Myopia has become a serious global burden of visual impairment and blindness, and the World Health Organization has included the prevention and treatment of myopia in its global blindness prevention program. Many ocular pathological alterations that follow from advanced myopia could cause visual impairment and even blindness in severe situations. Myopia is becoming more prevalent and has a greater impact on young people. Myopia's social repercussions are becoming more widely known. One of the several fundus alterations linked to myopia is tessellated fundus, which is the earliest lesion in the natural course of myopic fundus lesions and an important clinical marker for the development of retinopathy. Currently, there are several different methods of grading fundus tessellation, all of which are graded subjectively by fundus color photography. One can investigate the morphological characteristics and functional status of the tessellated fundus with ophthalmoscope, fundus photography, optical coherence tomography, electroretinogram, microperimetry and other modal images. In this study, the imaging properties and common applications of the tessellated fundus are reviewed to provide appropriate resources for clinical ophthalmology.

• KEYWORDS: myopia; fundus tessellation; optical coherence tomography; electroretinogram; fundus photography; microperimetry

Citation: Zhong Y, Zhang YY, Han YB, et al. Progress in imaging and functional assessment of myopic fundus tessellation changes. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2023; 23(10): 1689-1694

0 引言

近视是一种常见的屈光不正, 全球有超过 20 亿人受到影响^[1]。据统计, 世界各地的近视患病率正在逐渐上升, 如无有效的干预措施, 预计到 2050 年全球患病率将达到 50%^[1]。有报道, 近视相关病变已成为视力受损和失明的主要原因之一^[2], 近视更是全球劳动年龄人群致盲的常见原因之一^[3]。目前, 在全球范围内, 高度近视的患病

率占近视人群的20%^[4-5],已演变成为全球普遍存在的公共卫生问题。随着近视度数的增加,会引起一系列眼底的病理性改变,包括豹纹状眼底、颞侧弧形斑、色素上皮变薄、Fuchs斑、视网膜脉络膜萎缩等^[6],其中豹纹状眼底是近视性眼底病变自然病程的最早期病变^[7],也是视网膜病变发展的一个重要临床标志。研究发现,近视度数大于-10.00D的患者,发生豹纹状眼底的几率为85.7%^[8]。豹纹状眼底被定义为在眼底后极部可见大脉络膜血管^[9-10],似豹纹样纹理而取名。目前认为主要由视网膜色素上皮细胞的丢失、视网膜色素上皮透光性增加、脉络膜毛细血管灌注减少以及脉络膜厚度变薄等因素所致^[9]。

豹纹状眼底的影像及功能评估对于豹纹状眼底相关近视的诊断及随访非常重要。而目前其相关领域的研究鲜少,本文就目前临床上对于近视性豹纹状眼底的影像学特征及功能评估学特征及常见应用作一综述。

1 眼底照相在豹纹状眼底评估中的应用

目前,对于豹纹状眼底改变的诊断通常是通过眼底彩色照片。Yan等^[10]对豹纹状眼底进行了分级,在以黄斑和视神经乳头为中心的45°眼底照片上评估豹纹状眼底改变的程度。根据脉络膜大血管的暴露程度分为四个等级,即0~3级,分别为无、轻度、中度、重度豹纹状眼底改变(图1)^[10]。另外,该研究人员对黄斑区和视乳头周围区域的平均值进行进一步的统计分析,更加精确了豹纹状眼底的分级(图2)^[11]。另外,有研究应用早期糖尿病视网膜病变治疗研究(ETDRS)网格的眼底照片对豹纹状眼底改变和黄斑中心凹之间的相对位置来进行分级,以黄斑中心凹为圆心,中心圆、内圆、外圆直径分别为1、3、6mm,

其中0级为看不到脉络膜大血管,1级为在后极可透见脉络膜大血管但不涉及ETDRS网格,2级为在ETDRS网格的外圈可见但不涉及内圈,3级为在ETDRS网格的内圈可见但不涉及黄斑中心凹,4级为ETDRS网格的中心凹可透见脉络膜大血管^[12]。评估豹纹状眼底改变与黄斑中心凹之间的相对位置可能是评估眼底豹纹状眼底改变严重程度的理想标准。

Ohno-Matsui等^[13]建立了近视性黄斑病变的分类分级系统,该系统基于对高度近视眼的眼底病变的长期观察。将近视性黄斑病变分为五类,分别为:0类:无近视视网膜病变;1类:仅眼底有豹纹状眼底;2类:弥漫性脉络膜萎缩;3类:斑块状脉络膜萎缩;4类:黄斑萎缩。该研究证实豹纹状眼底改变是病理性近视最早的病理性脉络膜视网膜改变^[13]。严格的豹纹状眼底诊断标准有助于区分近视性黄斑病变。

数字彩色照片通过实验室中开发的方法量化为“Tessellated眼底指数”(TFI)^[14],通过中心凹和视盘之间直径为250像素的圆形区域来确定TFI,使用平均红色强度(R)、平均绿色强度(G)和平均蓝色强度(B)计算了三个TFI,称为TFI-1、TFI-2和TFI3,其中豹纹状眼底改变的眼底颜色更红。作为一种客观的豹纹状眼底分级系统,该研究表明,豹纹状眼底在视乳头周围区域最为突出。豹纹状眼底改变可出现在后极的任何位置^[15],但脉络膜变薄和豹纹状眼底最常见在视盘下方和下方外扇型区域^[16]。有研究证实,在低度近视的儿童中,豹纹状眼底改变程度可以反映出病理性近视的风险。因此,豹纹状眼底改变程度的分级至关重要^[17]。

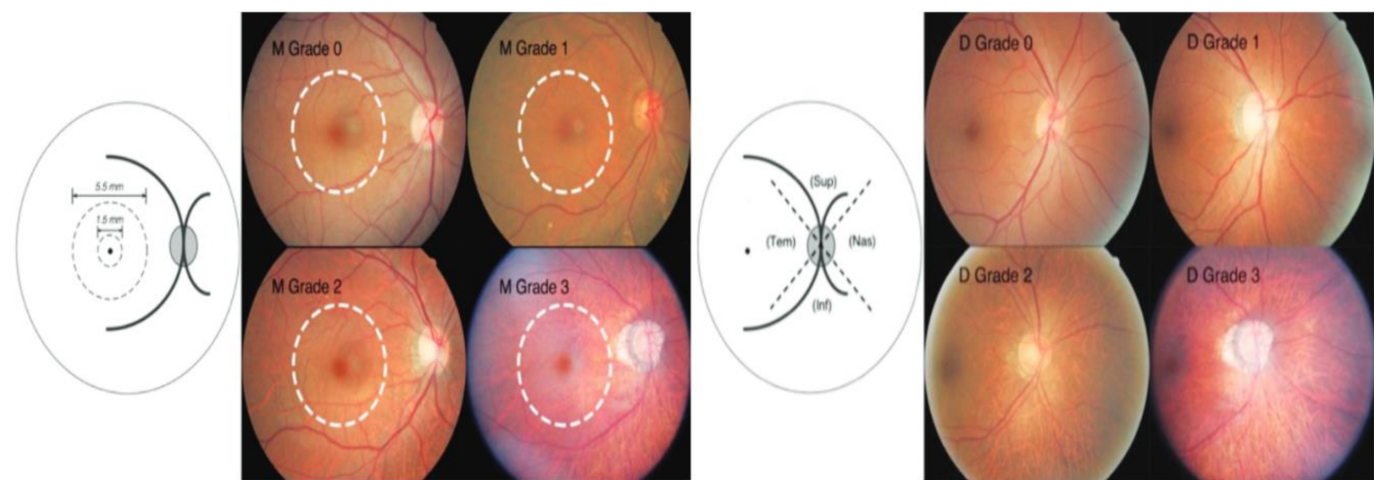


图1 黄斑区及视盘区豹纹状眼底严重程度分级标准图^[10]。

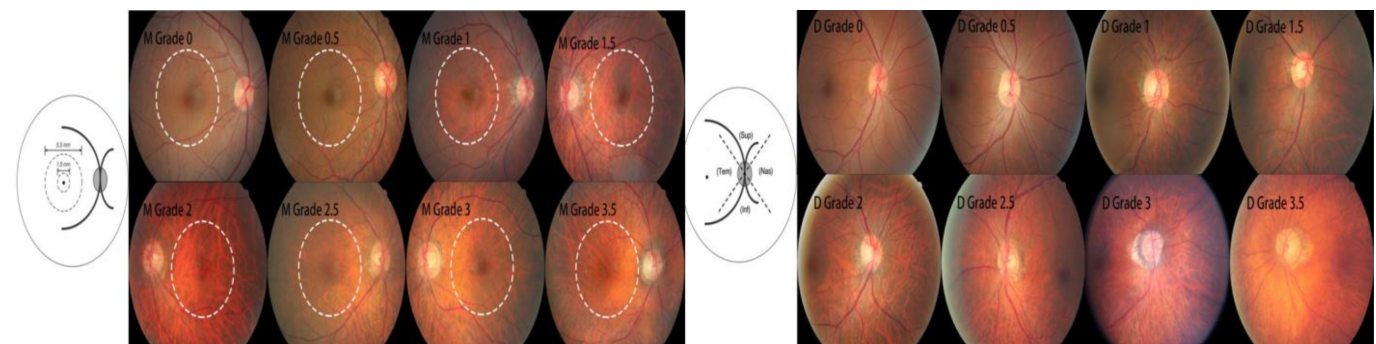


图2 黄斑区及视盘区豹纹状眼底严重程度分级标准图^[11]。

此外,目前使用较多的超广角眼底成像系统主要包括欧宝(Opto)和 Zeiss 275 Clarus,以及炫彩成像技术,也是发现豹纹状眼底改变的得力工具。

2 OCT 检查在豹纹状眼底评估中的应用

2.1 OCT 光学相干断层扫描 (optical coherence tomography, OCT) 是一种可在活体上测量视网膜、脉络膜横断面的影像学检查^[18],利用 OCT 的高分辨率观察近视黄斑病变的特征性表现,可用于豹纹状眼底与视网膜、脉络膜厚度及巩膜厚度的关系研究。

多项研究发现豹纹状眼底眼其脉络膜厚度显著变薄^[12,19-21],尤以黄斑中心凹、视盘下部脉络膜厚度变薄最为明显^[22],且脉络膜厚度在颞侧明显厚于鼻侧^[23]。同一级别的豹纹状眼底眼的中心凹下脉络膜厚度减少程度也有显著区别^[12],在豹纹状眼底不断发展至中心凹的过程中,脉络膜变薄可能在黄斑-乳头区进展最为迅速。屈光不正超过 1D 的近视眼中,每增加 1.00D 中心凹下脉络膜厚度就会减少 $15\mu\text{m}$ ^[24]。有研究推测,脉络膜变薄可能有一个阈值,超过该阈值,视功能就会受损^[25]。脉络膜的机械拉伸可以解释豹纹眼底的高发生率^[26]。有研究者证实豹纹状眼底的改变程度可能反映脉络膜厚度的变化,代表年轻高度近视患者其黄斑病变的严重程度,他们很少有病理性近视的晚期病变,且豹纹状眼底改变分级可能是评估儿童和青少年早期近视黄斑病的一个潜在指标^[27]。以上研究均表明,豹纹状眼底与脉络膜厚度呈现很强的关联性,脉络膜变薄可能是近视性黄斑病变发展的一个重要的潜在危险因素,我们可将脉络膜厚度作为评估豹纹状眼底改变的替代物,且涉及中心凹的豹纹状眼底改变在近视性视网膜病变的进一步研究中可能更有意义。

有研究发现,豹纹状眼底分级与中心区视网膜厚度不相关^[12,21]。近视眼的黄斑平均视网膜厚度不随近视而变化,但近视眼的旁中心凹视网膜厚度较薄,中心凹处较厚^[28],周边视网膜更薄^[29],且颞侧视网膜厚度比鼻侧更薄^[30],下方比上方更薄^[28]。然而,也有研究发现随着近视屈光度增加视网膜厚度降低,以旁中心凹、外环范围内(3~6mm)为甚^[31]。因此,豹纹状眼底改变眼的视网膜厚度可能变薄,但与豹纹状眼底改变无明显相关性。

2.2 OCTA 光学相干断层扫描血管成像 (optical coherence tomography angiography, OCTA) 是在 OCT 基础上拓展而来的新型眼底影像检查技术。OCTA 图像中的血流密度、血流区域面积及无血流区域面积等各指标均可做到定量分析,这对于临床评估疾病的病因、发展及随访疗效等有重要意义^[32]。

尽管高度近视对人类视觉系统有着严重威胁,但其机制和血流的变化至今仍难以捉摸。有研究发现,豹纹状眼底改变眼的视网膜视乳头周围血流指数和血管密度降低^[33]。张慧等^[21]认为豹纹状眼底程度随着黄斑区视网膜浅层毛细血管血流密度的增加而加深。多项研究表明,近视程度越高,视网膜毛细血管微血管密度越低^[34-35]。在没有明显病变的高度近视患者中,黄斑区血管密度呈下降趋势^[36]。但也有研究者认为,高度近视的黄斑区视网膜血管密度并没有明显降低^[37],只有视盘旁区域的血管

密度降低^[38]。He 等^[39]在高度近视眼的视网膜浅层中没有发现血管密度差异,而视乳头周围毛细血管和黄斑旁深层血管密度降低。有研究证明屈光不正并不影响无病理性改变的近视眼的黄斑血管密度^[40]。当视网膜发生机械伸展时,其表面及深部的滋养血管也会相应受到压迫从而影响黄斑区血流灌注^[41]。综上,目前关于黄斑区视网膜分层血流和脉络膜血流的研究相对较少,现有文献中的结果也不尽相同。我们猜测这可能与高度近视后期容易出现新生血管和黄斑出血有关,仍有待进一步探索。

有研究发现高度近视眼的中心凹无血管区 (foveal avascular zone, FAZ) 浅表面积变小^[35]。然而,也有研究相左,高度近视的眼睛浅层 FAZ 的面积更大^[39,42],且 Sung 等^[42]表明高度近视眼的深层 FAZ 面积也更大。Wang 等^[33]研究发现豹纹状眼底改变眼的视网膜血流灌注减少,其中以视网膜纤维层最为显著。近视程度越高,视网膜血流缺损面积越大^[43],高度近视的脉络膜毛细血管血流缺陷更严重,且随着近视性黄斑病变的严重程度而加重^[44]。Zhang 等^[45]也在豚鼠模型中证实近视眼脉络膜血流灌注降低了 31.9%。猜测豹纹状眼底改变是脉络膜色素沉着和视网膜色素上皮层萎缩的结果,这些萎缩的变化降低了代谢需要^[33]。因此,我们猜测豹纹状眼底改变眼的视网膜血流灌注减少,而 FAZ 面积有待商榷。

3 视网膜电图检查在豹纹状眼底评估中的应用

视网膜电信号 (electroretinogram, ERG) 被广泛用于确定视网膜的整体和局部反应^[46-47],通常用来检测遗传性和获得性视网膜疾病以及包括屈光不正在内的几种疾病。ERG 主要包括三种类型:有全域视网膜电图 (full-field electroretinogram, FfERG)、图形 ERG (pattern electroretinogram, PERG) 及多焦 ERG (multifocal electroretinography, MfERG)。

3.1 FfERG FfERG 通常被用来评估视网膜的功能完整性。有多项研究报道近视眼的视网膜功能受损,近视眼视网膜电图的 b 波振幅显著降低^[48-50]。另有研究发现,无黄斑病变的近视眼视网膜电图显示随着轴长的增加,a 波和 b 波振幅略有减小^[51]。此外,高度近视豹纹状眼底改变眼的视网膜电图 a 波和 b 波的振幅明显降低,而潜伏期在正常范围^[52]。因此,基于豹纹状眼底改变产生的病理生理特点^[9],猜测豹纹状眼底改变眼的视网膜电图 a 波及 b 波振幅随着豹纹状眼底的改变程度加深而降低。

3.2 PERG PERG 是衡量视网膜中央功能和视网膜神经节细胞功能的指标^[46]。有研究报道,高度近视眼的视网膜电图的 P50 和 N95 波的振幅降低,N95 波潜伏期显著延长,P50 波潜伏期无明显延长^[53]。Hidajat 等^[54]发现 PERG 的 P50 振幅随着眼轴长度的增加而减小,每增加 1mm 眼轴,PERG P50 波幅就减少 11.6%。因 PERG 对豹纹状眼底的研究甚少,因此,豹纹状眼底改变眼 PERG 的 P50 和 N95 波幅可能降低,而 N95 波潜伏期可能延长。

3.3 MfERG 多项研究表明,近视眼的 MfERG N1、P1 的振幅降低、潜伏期延长^[55-57]。无眼底病变的近视眼的 MfERG 振幅随着轴向长度的增加而下降^[58]。近视眼的 P1 潜伏期比正视眼长 1.3~3.1ms^[59],且 P1 幅度的影响比

N1 幅度更大^[55],各环的波幅中心环较外周环降低更明显^[55]。随着近视程度的增加,各环 P1 波反应密度值逐渐减小,P1 波潜伏期逐渐延长,振幅变化比潜伏期变化更加显著^[60]。目前尚缺乏对近视性豹纹状眼底变化的 MfERG 研究。因 MfERG 检测黄斑功能的特性,我们猜测豹纹状眼底改变的早期黄斑区虽然没有出现严重病变,但在黄斑中心区会有功能异常的情况。因此,我们预估豹纹状眼底改变眼的视网膜电图 N1 和 P1 振幅密度降低,且相应潜伏期延长。

另外,高度近视的年轻人的 ERG 变化可能先于眼底和 OCT 变化^[61],这表明高度近视眼视网膜形态与视网膜功能改变密切相关^[62]。目前已知的文献中,并没有形态学和功能学两者联合的对于近视性眼底的相关报道。在很多病例中,视网膜形态发生明显改变之前就已经存在视网膜功能的损害。因此,探讨病理性近视的变化,不能仅着眼于它的形态学改变,更应该重视其功能学上的转变。MfERG 是一种非常有价值的检测手段,尤其是在视网膜的结构改变不明显时,而仅在功能上有变化时候。而 OCTA 对黄斑部结构的改变非常敏感,能显示出被忽略的 MfERG 改变。两者可以想相辅相成,对视网膜功能和形态进行全面评估。

4 微视野在豹纹状眼底评估中的应用

目前,临床上使用较多的是黄斑功能评估仪微视野计(MAIA)、Optos OCT SLO 和 MP-1 型微视野计^[63],视敏度、固视稳定性及固视中心位置是微视野检查对视功能进行评价的 3 个重要参数,并能够进行定量分析^[64]。这项技术在对患者黄斑区功能受损较严重者的诊断、评价及病情改变的判定中应用较广泛。

4.1 视网膜光敏感度 有研究表明,近视眼的黄斑区视网膜光敏感度降低^[65],与近视度数呈负相关^[66-67],与视锥细胞的密度呈正相关^[65],且与眼轴的增长有关。矫正视力正常的高度近视眼黄斑区视网膜光敏感度也有所下降,且外环下降更明显^[68]。该研究还发现高度近视眼视网膜光敏感度功能下降早于视力变化,并且存在区域性特点^[68],高度近视眼的鼻外区最先出现光敏感度下降^[69],不同区域均有不同程度的降低,且双眼具有不对称性^[22]。有研究者认为微视野计能与眼底的病变相对应,并能反映出特定区域的视网膜光敏感度的情况^[66]。因此,豹纹状眼底改变眼的视网膜光敏感度可能随着豹纹状眼底改变程度的加深而下降。

4.2 固视功能 固视稳定性包括稳定性固视、相对不稳定性固视及不稳定性固视,是评价黄斑中心凹功能、预估视力的重要指标^[70]。

固视稳定性是指在一段时间内注视外界物体时注视点的改变情况。正常人固视越稳定,视力越佳^[71]。固视稳定性是视力下降的重要因素。有研究者发现高度近视眼 63%和 95%的双曲线椭圆面积与眼轴呈正相关,且随着眼轴的增长,患眼的固视稳定性下降^[72]。但也有人表明病理性近视无黄斑病变时固视功能尚未受到影响。故豹纹状眼底改变眼的固视功能有待商榷,推测随着豹纹状眼底程度加深可能出现偏心注视^[73]。

5 展望

豹纹状眼底改变的出现提示近视眼底病变的高风险,19%~22%和 20%~30%的豹纹状眼底改变眼会发展为病理性近视^[74-75]。豹纹状眼底改变作为近视眼底改变的早期表现,对于临床近视防控及研究至关重要。部分近视患者可维持豹纹状眼底长期不变,而另一部分患者可能发展为更严重的黄斑病变,最终导致不可逆的视力损伤。

综上所述,随着现代社会的发展,用眼负担趋增,近视人群也逐步攀升,近视对国家安全、社会经济和个人发展都带来了极大的影响。预防近视的措施显得尤为重要,尤其是预防高度近视。因此,近视的早期眼底表现,即豹纹状眼底改变的早期干预至关重要。通过豹纹状眼底改变的相关检查,对其结构、功能和血流等进行综合分析,各项检查相结合可以早期发现病变并进行量化,从而提高近视眼底病变的检出率,指导临床治疗,并作为观察疗效及监测病情进展的指标,为近视性黄斑病变的早期预防和视力健康管理提供依据,才能更好地响应我国防控儿童青少年近视的号召。

参考文献

- 1 Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology* 2016;123(5):1036-1042
- 2 Chen SJ, Cheng CY, Li AF, et al. Prevalence and associated risk factors of myopic maculopathy in elderly Chinese: the Shihpai eye study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012;53(8):4868-4873
- 3 You QS, Peng XY, Xu L, et al. Myopic maculopathy imaged by optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2014;121(1):220-224
- 4 Leo SW. Current approaches to myopia control. *Curr Opin Ophthalmol* 2017;28(3):267-275
- 5 Wu PC, Huang HM, Yu HJ, et al. Epidemiology of myopia. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2016;5(6):386-393
- 6 Hopf S, Pfeiffer N. Epidemiologie der myopie. *Der Ophthalmol* 2017;114(1):20-23
- 7 Jonas JB, Gründler A. Optic disc morphology in "age-related atrophic glaucoma". *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1996;234(12):744-749
- 8 Koh VT, Nah GK, Chang L, et al. Pathologic changes in highly myopic eyes of young males in Singapore. *Ann Acad Med Singap* 2013;42(5):216-224
- 9 Thomas CJ, Mirza RG, Gill MK. Age-related macular degeneration. *Med Clin N Am* 2021;105(3):473-491
- 10 Yan YN, Wang YX, Xu L, et al. Fundus tessellation: prevalence and associated factors. *Ophthalmology* 2015;122(9):1873-1880
- 11 Yan YN, Wang YX, Yang Y, et al. Long-term Progression and Risk Factors of Fundus Tessellation in the Beijing Eye Study. *Sci Rep* 2018 ;8(1):10625
- 12 Lyu H, Chen Q, Hu G, et al. Characteristics of fundal changes in fundus tessellation in young adults. *Front Med (Lausanne)* 2021;8:616249
- 13 Ohno - Matsui K, Kawasaki R, Jonas JB, et al. International photographic classification and grading system for myopic maculopathy. *Am J Ophthalmol* 2015;159(5):877-883
- 14 Yoshihara N, Yamashita T, Ohno-Matsui K, et al. Objective analyses of tessellated fundi and significant correlation between degree of tessellation and choroidal thickness in healthy eyes. *PLoS One* 2014;9

- (7):e103586
- 15 Terasaki H, Yamashita T, Yoshihara N, *et al.* Location of tessellations in ocular fundus and their associations with optic disc tilt, optic disc area, and axial length in young healthy eyes. *PLoS One* 2016; 11(6):e0156842
- 16 Yamashita T, Terasaki H, Tanaka M, *et al.* Relationship between peripapillary choroidal thickness and degree of tessellation in young healthy eyes. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2020; 258(8): 1779–1785
- 17 Gong W, Cheng TY, Wang JJ, *et al.* Role of corneal radius of curvature in early identification of fundus tessellation in children with low myopia. *Br J Ophthalmol* 2022[Epub ahead of print]
- 18 Faghihi H, Hajizadeh F, Riazii – Esfahani M. Optical coherence tomographic findings in highly myopic eyes. *J Ophthalmic Vis Res* 2010;5(2):110–121
- 19 Fang YX, Du R, Nagaoka N, *et al.* OCT-based diagnostic criteria for different stages of myopic maculopathy. *Ophthalmology* 2019; 126(7): 1018–1032
- 20 Li ZX, Wang W, Liu R, *et al.* Choroidal thickness predicts progression of myopic maculopathy in high myopes: a 2-year longitudinal study. *Br J Ophthalmol* 2021; 105(12):1744–1750
- 21 张慧, 陈晨, 李筱荣. 大学生高度近视患眼豹纹状眼底程度及其影响因素. *中华眼底病杂志* 2020;36(12): 915–921
- 22 Alzaben Z, Cardona G, Zapata MA, *et al.* Interocular asymmetry in choroidal thickness and retinal sensitivity in high myopia. *Retina* 2018;38(8):1620–1628
- 23 Zhou YP, Song ML, Zhou MW, *et al.* Choroidal and retinal thickness of highly myopic eyes with early stage of myopic chorioretinopathy: tessellation. *J Ophthalmol* 2018;2018:1–9
- 24 Wei WB, Xu L, Jonas JB, *et al.* Subfoveal choroidal thickness: the Beijing eye study. *Ophthalmology* 2013;120(1):175–180
- 25 Gupta P, Saw SM, Cheung CY, *et al.* Choroidal thickness and high myopia: a case-control study of young Chinese men in Singapore. *Acta Ophthalmol* 2015;93(7):e585–e592
- 26 Postolache L, De Jong C, Casimir G. Illustration of tessellation in down syndrome. *Ophthalmic Genet* 2020;41(2):135–145
- 27 Cheng TY, Deng JJ, Xu X, *et al.* Prevalence of fundus tessellation and its associated factors in Chinese children and adolescents with high myopia. *Acta Ophthalmol* 2021;99(8):e1524–e1533
- 28 Lim MCC, Hoh ST, Foster PJ, *et al.* Use of optical coherence tomography to assess variations in macular retinal thickness in myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2005;46(3):974
- 29 Wolsley CJ, Saunders KJ, Silvestri G, *et al.* Investigation of changes in the myopic retina using multifocal electroretinograms, optical coherence tomography and peripheral resolution acuity. *Vis Res* 2008;48(14):1554–1561
- 30 Lam DSC, Leung KS, Mohamed S, *et al.* Regional variations in the relationship between macular thickness measurements and myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2007;48(1):376–382
- 31 刘玉婷, 雷颖庆, 田敏. 不同屈光度近视青少年儿童黄斑区血管密度和视网膜厚度的比较. *国际眼科杂志* 2021; 21(5): 789–795
- 32 Jia YL, Bailey ST, Hwang TS, *et al.* Quantitative optical coherence tomography angiography of vascular abnormalities in the living human eye. *PNAS* 2015;112(18):E2395–E2402
- 33 Wang XL, Zheng YY, Kong XM, *et al.* The characteristics of peripapillary retinal perfusion by optical coherence tomography angiography in tessellated fundus eyes. *PLoS One* 2016;11(7):e0159911
- 34 Guo Y, Sung MS, Park SW. Assessment of superficial retinal microvascular density in healthy myopia. *Int Ophthalmol* 2019;39(8): 1861–1870
- 35 Wong CW, Matsumura S, Htoon HM, *et al.* Assessment of the macular microvasculature in high myopia with swept source optical coherence tomographic angiography. *Front Med* 2021;8:619767
- 36 Li M, Yang Y, Jiang H, *et al.* Retinal microvascular network and microcirculation assessments in high myopia. *Am J Ophthalmol* 2017; 174:56–67
- 37 Mo J, Duan AL, Chan S, *et al.* Vascular flow density in pathological myopia: an optical coherence tomography angiography study. *BMJ Open* 2017;7(2):e013571
- 38 Wang XL, Kong XM, Jiang CH, *et al.* Is the peripapillary retinal perfusion related to myopia in healthy eyes? A prospective comparative study. *BMJ Open* 2016;6(3):e010791
- 39 He JN, Chen QY, Yin Y, *et al.* Association between retinal microvasculature and optic disc alterations in high myopia. *Eye* 2019;33(9):1494–1503
- 40 Venkatesh R, Sinha S, Gangadharaiiah D, *et al.* Retinal structural–vascular–functional relationship using optical coherence tomography and optical coherence tomography–angiography in myopia. *Eye Vis* 2019;6(1):1–12
- 41 李娜, 齐艳华. 利用 OCTA 评估屈光不正对学龄儿童黄斑区血流及视网膜厚度的影响. *国际眼科杂志* 2020; 20(8): 1439–1442
- 42 Sung MS, Lee TH, Heo H, *et al.* Association between optic nerve head deformation and retinal microvasculature in high myopia. *Am J Ophthalmol* 2018;188:81–90
- 43 Al-Sheikh M, Phasukkijwatana N, Dolz-Marco R, *et al.* Quantitative OCT angiography of the retinal microvasculature and the choriocapillaris in myopic eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2017;58(4):2063–2069
- 44 Wong CW, Teo YCK, Tsai STA, *et al.* Characterization of the choroidal vasculature in myopic maculopathy with optical coherence tomographic angiography. *Retina* 2019;39(9):1742–1750
- 45 Zhang S, Zhang GY, Zhou X, *et al.* Changes in choroidal thickness and choroidal blood perfusion in Guinea pig myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2019;60(8):3074–3083
- 46 Robson AG, Nilsson J, Li SY, *et al.* ISCEV guide to visual electrodiagnostic procedures. *Doc Ophthalmol* 2018;136(1):1–26
- 47 Hoffmann MB, Bach M, Kondo M, *et al.* ISCEV standard for clinical multifocal electroretinography (mfERG) (2021 update). *Doc Ophthalmol* 2021;142(1):5–16
- 48 Flitcroft DI, Adams GW, Robson AG, *et al.* Retinal dysfunction and refractive errors: an electrophysiological study of children. *Br J Ophthalmol* 2005;89(4):484–488
- 49 Kader MA. Electrophysiological study of myopia. *Saudi J Ophthalmol* 2012;26(1): 91–99
- 50 Shamshinova AM, Tarutta EP, Zol'nikova IV, *et al.* Retinal bioelectrical activity in children with congenital myopia. *Vestn Oftalmol* 2008;124(5):44–50
- 51 Westall CA, Dhaliwal HS, Panton CM, *et al.* Values of electroretinogram responses according to axial length. *Doc Ophthalmol* 2001;102(2):115–130
- 52 Ishikawa M, Miyake Y, Shiroyama N. Focal macular electroretinogram in high myopia. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi* 1990;94(11):1040–1047

- 53 Oner A, Gumus K, Arda H, *et al.* Pattern electroretinographic recordings in eyes with myopia. *Eye Contact Lens Sci Clin Pract* 2009;35(5):238-241
- 54 Hidayat R, McLay J, Burley C, *et al.* Influence of axial length of normal eyes on PERG. *Doc Ophthalmol* 2003;107(2):195-200
- 55 Sachidanandam R, Ravi P, Sen P. Effect of axial length on full-field and multifocal electroretinograms. *Clin Exp Optom* 2017; 100(6):668-675
- 56 Ismael ZF, El-fattah El-shazly AA, Farweez YA, *et al.* Relationship between functional and structural retinal changes in myopic eyes. *Clin Exp Optom* 2017;100(6):695-703
- 57 Song AP, Yu T, Wang JR, *et al.* Multifocal electroretinogram in non-pathological myopic subjects: correlation with optical coherence tomography. *Int J Ophthalmol* 2016;9(2):286-291
- 58 Hamzawy NS, El-Zarakany TA, El-Shazly AA, *et al.* Effect of axial length on full-field and multifocal electroretinogram. *QJM* 2021; 114(Supplement_1):hcab109. 027
- 59 Chen JC, Brown B, Schmid KL. Delayed mfERG responses in myopia. *Vis Res* 2006;46(8-9):1221-1229
- 60 宋爱萍, 于涛, 卓建, 等. 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. *眼科新进展* 2019;39(3):255-259
- 61 Koh V, Tan C, Nah G, *et al.* Correlation of structural and electrophysiological changes in the retina of young high myopes. *Ophthalmic Physiol Opt* 2014;34(6):658-666
- 62 Nebbioso M, Lambiase A, Gharbiya M, *et al.* High myopic patients with and without foveoschisis: morphological and functional characteristics. *Documenta Ophthalmol* 2020;141(3):227-236
- 63 Fujiwara A, Shiragami C, Manabe S, *et al.* Normal values of retinal sensitivity determined by macular integrity assessment. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi* 2014;118(1):15-21
- 64 Hirooka K, Misaki K, Nitta E, *et al.* Comparison of macular integrity assessment (MAIATM), MP-3, and the Humphrey field analyzer in the evaluation of the relationship between the structure and function of the macula. *PLoS One* 2016;11(3):e0151000
- 65 Wang YY, Ye J, Shen MX, *et al.* Photoreceptor degeneration is correlated with the deterioration of macular retinal sensitivity in high myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2019;60(8):2800
- 66 Zaben A, Zapata MÁ, Garcia - Arumi J. Retinal sensitivity and choroidal thickness in high myopia. *Retina* 2015;35(3):398-406
- 67 夏阳, 蔺云霞, 徐玲. 无黄斑病变近视患者黄斑区视网膜结构与视功能改变的相关性. *眼科新进展* 2020;40(5):457-460, 465
- 68 吴秋艳, 陈绮, 谭凡, 等. 高度近视患者黄斑区视网膜光敏感度的变化. *中华眼视光学与视觉科学杂志* 2017;19(3):146-151
- 69 秦要武, 朱梦钧, 徐格致. 近视对黄斑微视野功能检测的影响. *眼视光学杂志* 2008;10(1):10-13
- 70 Oyagi T, Fujikado T, Hosohata J, *et al.* Foveal sensitivity and fixation stability before and after macular translocation with 360-degree retinotomy. *Retina* 2004;24(4):548-555
- 71 栗改云, 贾亚丁, 张棉花. 黄斑区视网膜光敏感度与视力的相关性分析. *中国实用眼科杂志* 2005;12:1281-1283
- 72 Zhu XJ, He WW, Zhang KK, *et al.* Fixation characteristics in highly myopic eyes: the Shanghai high myopia study. *Sci Rep* 2019;9:6502
- 73 郭海霞, 楚艳华, 刘玉燕, 等. 病理性近视眼黄斑区微视野分析. *中国实用眼科杂志* 2015;33(5):471-475
- 74 Yan YN, Wang YX, Yang Y, *et al.* Ten-year progression of myopic maculopathy. *Ophthalmology* 2018;125(8):1253-1263
- 75 Fang YX, Yokoi T, Nagaoka N, *et al.* Progression of myopic maculopathy during 18-year follow-up. *Ophthalmology* 2018;125(6):863-877