

青少年眼轴长度与眼部损害的相关性研究进展

曾诚杰, 杨前, 孟祥俊

引用: 曾诚杰, 杨前, 孟祥俊. 青少年眼轴长度与眼部损害的相关性研究进展. 国际眼科杂志, 2025, 25(8): 1291-1295.

作者单位: (116001) 中国辽宁省大连市, 大连大学附属中山医院眼科

作者简介: 曾诚杰, 本科, 住院医师。

通讯作者: 杨前, 博士, 主任医师, 研究方向: 白内障、屈光、视光。54513801@qq.com

收稿日期: 2025-02-20 修回日期: 2025-06-17

摘要

近视已成为我国及全球常见眼病, 我国儿童青少年近视率持续增加, 且呈现低龄化、高度化特点, 严重威胁眼部健康。目前研究表明, 近视与眼轴长度密切相关, 近视发展过程中, 眼轴过长会致巩膜、视网膜、脉络膜等眼部结构改变, 进而增加如后巩膜葡萄肿、视网膜脱离等疾病发病风险, 最终导致严重视力损害。文章通过回顾近年来国内外相关文献, 系统梳理眼轴长度变化与眼部损害之间的关系, 深入探讨二者相互作用机制, 旨在为儿童青少年近视防治提供参考, 以期减少近视性眼底病变并发症发生, 对保护儿童青少年眼部健康具有重要的现实意义。

关键词: 近视; 眼轴长度; 眼底改变; 综述

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2025.8.14

Advances in the correlation of axial length with eye lesions in adolescents

Zeng Chengjie, Yang Qian, Meng Xiangjun

Department of Ophthalmology, Affiliated Zhongshan Hospital of Dalian University, Dalian 116001, Liaoning Province, China

Correspondence to: Yang Qian. Department of Ophthalmology, Affiliated Zhongshan Hospital of Dalian University, Dalian 116001, Liaoning Province, China. 54513801@qq.com

Received: 2025-02-20 Accepted: 2025-06-17

Abstract

• Myopia has become a common eye disease in China and around the world. The myopia rate among children and adolescents in China has been continuously increasing, and it shows the characteristics of younger age and higher severity, seriously threatening eye health. According to recent studies, myopia is closely related to the axial length. During the progression of myopia, the excessively long axial length would lead to changes in ocular structure like the sclera, retina, and choroid, etc., thereby increasing the onset risk of diseases such as posterior staphyloma of the sclera and retinal detachment, and ultimately resulting in severe vision

impairment. By reviewing the related literature at home and abroad in recent years, the paper systematically sorted out the relationship between the changes in axial length and fundus damage, deeply discussed the interacting mechanisms, aiming at providing reference for the prevention and treatment of myopia in children and adolescents, with the expectation of reducing the occurrence of complications of myopic fundus lesions, which has important practical significance for protecting the eye health of children and adolescents.

• KEYWORDS: myopia; axial length; fundus changes; review

Citation: Zeng CJ, Yang Q, Meng XJ. Advances in the correlation of axial length with eye lesions in adolescents. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2025, 25(8): 1291-1295.

0 引言

近视是目前全世界造成视力障碍的主要病因之一, 据预计至 2050 年全球近视患者将达到 47.58 亿, 其中高度近视高达 9.38 亿^[1]。儿童青少年不同于成人, 眼睛尚处于生长发育阶段, 若眼轴增长幅度超过正常生理范围则会形成近视, 若不加以控制, 最终会导致一系列眼底病变的发生发展。对于已经发生近视的儿童青少年患者, 除了需矫正患者的屈光不正以外, 其所带来的器质性病变同样需要引起重视。随着近视发展, 眼轴拉长, 眼球壁受到机械拉伸, 眼球正常生理结构改变, 导致如视网膜病变、视盘改变、巩膜变薄及近视性黄斑病变等一系列眼部病变的发生发展^[2], 因此临床上对于已经存在近视的患者, 尤其是高度近视患者应提高重视程度, 及早发现近视并尽早干预, 尽可能延缓其进展, 以期减少对眼底的损害。

1 近视与眼轴之间的关系

正常人眼轴在出生时约为 16 mm, 随着年龄增长不断增加, 到 3 岁时达 23 mm, 至成年时达 24 mm, 在此之后眼轴长度趋于稳定。而在近视儿童青少年中, 由于遗传与环境因素的共同影响, 在早期即可检测出眼轴增长速度加快, 并超过非近视儿童青少年, 导致其眼轴较同龄人偏长^[3]。眼轴与屈光度之间存在一定联系, 成人眼轴每增长 1 mm, 等效球镜度 (SE) 增加 -3.00 D 左右, 而儿童青少年具有一定调节能力, 可通过晶状体屈光力部分代偿眼轴所造成的屈光变化, 在不同年龄段与不同近视程度间存在一定差异, 在近视儿童中, 眼轴与 SE 之间的对应关系从 6 岁时 2.06 D/mm 增加到 16 岁 2.59 D/mm, 在非近视儿童中, 从 6 岁的 1.65 D/mm 增加到 16 岁的 2.18 D/mm^[4]。

根据 SE 数值可将近视分为低度近视、中度近视和高度近视; 根据其屈光成分可分为轴性近视和屈光性近视; 而根据其病程进展又可分为单纯性近视和病理性近视。轴性近视即眼轴长度超过正常范围, 而角膜与晶状体曲率

正常,是目前儿童青少年近视的主要类型。高度近视定义为眼轴 >26 mm或SE <-6.00 D,高度近视除了在成年后发展为趋于稳定的单纯性近视以外,还可以发展成仍在不断进展的病理性近视,其二者的主要区别在于是否出现导致视力损害的眼底病变^[5]。病理性近视是我国主要致盲性眼病之一,其本质是眼轴过度增长,最终形成如后巩膜葡萄肿、近视性黄斑病变等眼底并发症,造成严重视力损害^[6]。

2 眼轴过度增长的病理生理机制

眼轴过度增长是一个复杂的、由多因素共同作用导致的结果,包括遗传、环境、生物力学、分子信号等方面。目前有越来越多的研究证实遗传与近视之间存在显著相关性。一项关于我国北方汉族人群SNTB1和ZFHX1B基因多态性与高度近视之间的关联研究得出,在SNTB1中,高度近视患者的G-C-A-G单体型频率显著高于正常人群,在ZFHX1B基因中,高度近视患者的rs13382811位点的次要等位基因T频率显著高于正常人群^[7]。除SNTB1和ZFHX1B基因外,TNFRSF21、AGRN、COL1A1等基因同样证实与高度近视相关^[8-9]。

环境因素包括过多的使用电子产品、不好的学习习惯、较少的户外运动等^[10]。一项荟萃分析表明,增加户外活动可显著降低儿童近视风险,其保护机制可能主要源于充足的光照刺激视网膜多巴胺释放,但值得注意的是,即便保证户外时长,长时间近距离用眼仍会显著增加近视患病风险^[11]。

随着眼轴过度增长,巩膜胶原纤维发生改变。正常情况下,I型胶原占巩膜主要成分,约为95%,是构成巩膜质韧的基础,其余5%由III型、V型和VI型胶原蛋白共同构成,但随着眼轴过度增长,巩膜拉伸,巩膜生物力学发生变化,巩膜原有分子生物学组成改变,如I型胶原蛋白减少,胶原纤维直径变细,基质成分含量降低,基质降解酶活性升高等,最终导致巩膜厚度降低,巩膜质韧水平下降^[12]。而在巩膜构成中,I型胶原直径减小,巩膜抗拉伸能力下降是导致眼轴长度不断增长的原因之一^[13]。

3 眼轴过长对巩膜的影响

巩膜作为眼部重要的支撑组织,其具有多种重要作用:(1)保护脆弱的眼内组织;(2)维持眼内稳定以提供稳定的视网膜图像;(3)为睫状肌和眼外肌提供稳定的附着点;(4)为神经及血管提供保护性通道。当I型胶原直径减小,巩膜局部抗张力能力下降,则会形成薄弱区,在眼内压的作用下可能导致薄弱区向外膨出形成后巩膜葡萄肿。

病理性近视通常伴有不可逆的组织学改变,如后巩膜葡萄肿和近视性黄斑变性。后巩膜葡萄肿的发病风险与眼轴长度及年龄均有相关,年龄每增加1岁,后巩膜葡萄肿发病风险增加10%;眼轴每增加1 mm,后巩膜葡萄肿发病风险增加132%^[14]。研究表明,在高度近视患者中,其巩膜厚度甚至仅有正常巩膜的31%^[15],而巩膜变薄是后巩膜葡萄肿形成的关键机制,在对高度近视患者的研究中发现,合并后巩膜葡萄肿的患者较无此病变者眼轴更长,存在后巩膜葡萄肿的眼睛中,其各测量点的巩膜厚度均显著低于无后巩膜葡萄肿的眼睛,其中又以上方降低最多(304.0 ± 81.5 、 230.0 ± 76.5 μm),鼻侧降低最少(288.9 ± 69.1 、 257.1 ± 76.9 μm)^[16]。基于这些组织学改变以及临床表现,巩膜被认为是眼轴增长的主要影响组织^[17]。

4 眼轴过长对视盘的影响

随着眼轴增长,高度近视眼球向后极部扩张,巩膜变形,位于眼球壁最薄弱区域的筛板会不可避免受到影响,发生如视盘倾斜、视杯变浅、盘沿不规则等改变^[18]。

在青少年中度近视患者中,随着眼轴及近视程度增加,视盘及盘沿面积增加,杯盘比减小,视杯容积减少,且相较于SE而言,眼轴对视盘面积影响程度更大^[19]。在高度近视的年轻患者中,视盘旁萎缩弧面积、视盘倾斜度及视盘面积与眼轴长度呈正相关,与SE呈负相关,其中眼轴是视盘倾斜度的独立预测因子,而这些因素之间的关联在青少年和成人中不尽相同,青少年的眼轴和SE与视盘倾斜度的相关性更高,而成人的眼轴和SE与视盘面积的相关性更高^[20]。同时,在近视患者中,盘沿宽度也会因视盘倾斜而有所改变,对于正常视盘而言,其盘沿宽度是下方最宽,其次是上方与鼻侧,颞侧最窄,但在高度近视患者中鼻侧最窄^[21],考虑其原因可能是由于随着眼轴增长造成颞侧视盘倾斜,导致颞侧视网膜神经纤维厚度增加^[22]。

除了视盘倾斜以外,眼轴增长会影响视盘内血流密度、视盘旁视网膜毛细血管血流密度及视盘旁视网膜神经纤维层厚度,且对各方向的影响不一,正常而言视盘周围的视网膜神经纤维厚度下方最厚,颞侧最薄,但在近视患者中并非如此。在一项对6-17岁不同青少年眼轴及其视盘区神经纤维层厚度及血流密度的研究中发现,眼轴与视盘内血流密度呈显著负相关,眼轴与上方、下方及鼻侧神经纤维层厚度呈负相关,与颞侧为正相关^[23]。

视盘旁萎缩弧是因视盘旁视网膜及脉络膜萎缩所致,根据其组织学及临床表现可分为 α 区、 β 区、 γ 区和 δ 区,其中 γ 区缺乏Bruch膜与视网膜色素上皮层,位于Bruch膜开口与视盘边界之间。随着眼轴增长,Bruch膜向颞侧移位,颞侧缺失形成 γ 区,因此推测随着眼轴增长, γ 区范围不断扩大,进而出现黄斑部Bruch膜缺损的可能性越高^[24]。有研究针对不同近视程度的脉络膜萎缩情况同样提出 β 区、 γ 区萎缩面积与眼轴的关系,其与眼轴呈正相关,与视盘周围血管指数呈负相关^[25],当视盘旁萎缩弧累及到黄斑区则会造成明显视力损害。

视盘旁脉络膜空腔是高度近视并发症之一,目前机制尚不明确,其在眼底表现为边界清楚的橘黄色病灶。视盘旁脉络膜空腔通常伴有后巩膜葡萄肿、视盘旁萎缩弧等高度近视眼底改变,其形成与眼轴长度、后巩膜葡萄肿有关^[26]。此外,视盘旁脉络膜空腔在近视性黄斑病变的眼睛中更为常见,年龄较大、近视程度更高和眼轴长度更长均是其危险因素^[27]。

5 眼轴过长对脉络膜的影响

脉络膜是葡萄膜最后面部分,富含丰富的毛细血管,而巩膜深层几乎没有血管,因此脉络膜是黄斑中心凹位置的唯一营养来源。脉络膜厚度与眼轴、年龄有一定关系,对于有近视发展的患者中心凹脉络膜厚度明显降低,且不同年龄段变化不一,其中6-9岁患者中心凹脉络膜变化程度明显高于10-13岁及14-18岁,而对于没有近视发展的人群中心凹脉络膜厚度没有明显改变,此外,眼轴每增长1 mm,新发近视患者的脉络膜厚度平均减少36 μm ;而基线时存在近视或非近视的人群中,眼轴增长1 mm对应的脉络膜厚度减少量分别为20、39 μm ^[28]。年龄与脉络膜厚度呈独立相关,但其关系受SE调节:在SE >-2.00 D

的儿童中,脉络膜厚度主要受屈光度影响,而 $SE < -2.00$ D 时则无显著年龄相关性,有学者推测,当 $SE < -2.00$ D 时,生理性脉络膜生长对眼轴增长的代偿作用减弱,眼轴长度取代年龄成为脉络膜厚度的主要影响因素^[29]。

脉络膜厚度降低会导致近视性黄斑病变发展,是预测近视性黄斑变性的独立因子,在对 7-70 岁高度近视患者进行为期 2 a 的随访观察中发现,其中有 17.1% 的患眼出现近视性黄斑病变进展,且通过对比发现,存在近视性黄斑病变进展的眼比不存在进展的眼其平均脉络膜厚度降低 $99.31 \mu\text{m}$ ^[30]。在 4-18 岁高度近视患者中,光学相干断层扫描联合眼底照相显示,无近视性黄斑病变组的脉络膜厚度显著高于病变组,正常组较弥漫性脉络膜视网膜萎缩组增厚 40%-60%,较豹纹状眼底组增厚 20%-30%^[31]。同时,随着年龄增长,脉络膜厚度及视盘旁萎缩弧面积会继续发生变化,其在近视性黄斑变性中均起到一定作用,并且可以根据脉络膜厚度及视盘旁萎缩弧面积进一步预测近视性黄斑病变及其类型^[32]。

眼轴除了影响脉络膜厚度以外,对脉络膜面积也有一定影响。将脉络膜面积分为管腔面积与基质面积,脉络膜管腔面积与眼轴显著相关,随着眼轴增长而减少,而基质面积与年龄、血管指数相关^[33]。

6 眼轴过长对黄斑的影响

与脉络膜相似的是,眼轴过长同样会对黄斑区血流灌注产生影响。随着眼轴不断增加,黄斑浅层与深层毛细血管密度均会降低^[34]。在分别对眼轴为 25-27 mm(高度近视)与大于 27 mm(超高度近视)的青少年高度近视患者行光学相干断层扫描血管成像检查发现,高度近视患者浅层黄斑区视网膜血管长度密度与血管灌注密度 [$16.94 \pm 1.30 \text{ mm}^{-1}$, (40.57 \pm 3.26)%] 明显高于超高度近视患者 [$15.63 \pm 1.91 \text{ mm}^{-1}$, (37.33 \pm 4.87)%]^[35]。

豹纹样眼底是高度近视的特征性改变,其本质是眼轴过度增长导致视网膜神经上皮层变薄及色素上皮层色素脱失,使得深层脉络膜血管网暴露,在眼底镜下呈现豹纹状纹理,其发病率在不同年龄及不同长度眼轴中各不相同,有针对病理性近视黄斑病变危险因素的研究发现,在 10-30 岁患者中主要以豹纹样眼底为主,随着年龄增加,脉络膜萎缩比例逐渐增加,其次,眼轴在 30 mm 以下的近视患者以豹纹样眼底为主要改变,眼轴大于 32 mm 则以弥漫性脉络膜萎缩最多^[36]。

近视性黄斑病变分为萎缩性(A)、牵拉性(T)与新生血管性(N),其患病率同样与近视程度相关^[37]。在针对 $SE < -6.00$ D 的高度近视儿童青少年患者进行 ATN 统计时发现,约有 12% 患者可以观察到近视性黄斑病变进展,主要类型为弥漫性萎缩扩大,其危险因素包括更差的最佳矫正视力、更长的眼轴及更快的眼轴增长速度^[38]。

牵拉性近视黄斑病变是病理性近视并发症之一,包括玻璃体黄斑牵拉、黄斑裂孔、黄斑裂孔在内的一类疾病,在一般人群中患病率较低,在高度近视患者中患病率更高,与视网膜牵拉、屈光不正、眼轴长度、后巩膜葡萄肿、圆顶状黄斑、脉络膜视网膜萎缩等均有联系^[39]。眼轴增长是近视性黄斑裂孔的主要外部牵引力,随着眼轴增长,巩膜向后拉伸,附着于其上的视网膜同样会被牵拉,当所施加的力超过视网膜承受范围后会导致视网膜形成裂孔甚至脱离^[40]。

近视性黄斑变性的风险与后巩膜葡萄肿存在关联。在患有后巩膜葡萄肿的近视患者中,近视性黄斑变性的概率为 66.0%,而在不患有后巩膜葡萄肿的近视患者中概率为 25.8%^[41]。针对后巩膜葡萄肿与近视性黄斑裂孔之间的联系研究得出,对于后巩膜葡萄肿的检出率,近视性黄斑裂孔患者明显高于非近视性黄斑裂孔患者,当同时存在后巩膜葡萄肿与外层视网膜裂孔时,视网膜裂孔的区域均限制在后巩膜葡萄肿区域范围内^[42]。

7 眼轴过长对周边视网膜的影响

随着近视发展,周边视网膜同样会不可避免的受到影响,造成如视盘旁萎缩弧、漆裂纹、格子样变性、视网膜脱离等改变。通过组织形态测量发现,眼轴每增长 1 mm,视网膜增长 0.73 mm,由于内界膜与视网膜神经纤维是连接视网膜深层和视盘的唯一结构,因此视网膜伸长可能与视网膜神经纤维的拉伸有关,从而导致高度近视眼的视神经损伤^[43]。

香港一项针对 12-18 岁青少年高度近视眼底改变统计提示,最常见的五种视网膜变化分别是视盘旁萎缩弧(52.5%)、非压迫白(51.7%)、格子样变性(5.8%)、囊样变性(5%)和色素变性(4.2%),同时眼轴超过 26.5 mm 是周围视网膜改变、视盘旁萎缩弧和非压迫白的重要危险因素^[44]。

格子样变性是一种周边部玻璃体视网膜病变,表现为视网膜变薄,神经上皮层缺失及玻璃体视网膜黏连,其容易导致视网膜裂孔,同时是视网膜脱离的危险因素之一,而眼轴过度增长同样是其发生发展的危险因素^[45-46]。

视网膜脱离会导致视力严重损害,是周边视网膜病变严重并发症之一。视网膜脱离主要有三种类型:孔源性、牵拉性和渗出性,其中孔源性视网膜脱离的原因是存在一个或多个视网膜裂孔,导致液化的玻璃体沿着裂孔进入视网膜下腔,并将视网膜神经纤维与色素上皮分离,其中存在视网膜裂孔是最重要的危险因素^[47]。孔源性视网膜脱离与近视程度存在联系,美国一项关于近视患者孔源性视网膜脱离的流行病学表示,关于孔源性视网膜脱离患病率,高度近视患者是非近视人群的 39 倍,近视患者是非近视人群的 3 倍^[48]。

8 其他

近年来有学者认为除了可以将眼轴作为眼底健康情况指标以外,近视增长速度、角膜曲率半径、轴率比等也可考虑在内。

在近视快速增长(1 a 内 SE 增长量 < -1.00 D)儿童的视盘旁上方、下方及鼻侧视网膜神经纤维厚度降低速度比近视稳定增长(1 a 内 SE 增长量 ≥ -0.50 D)儿童快^[49];与眼轴稳定增长(眼轴增长为 0.02 mm/a)患者相比,眼轴快速增长(眼轴增长为 0.38 mm/a)患者其近视性黄斑病变风险高出 6.92 倍^[50]。

在眼底疾病方面,就角膜曲率半径与豹纹样眼底关系进行探讨,发现豹纹样眼底的严重程度与角膜曲率半径存在关系,其 ROC 曲线下面积为 0.647,且当角膜曲率半径大于 7.9 mm 时豹纹状眼底的发病率及严重程度急剧增加^[51]。在探究高度近视视力障碍相关危险因素发现,眼底病变的严重程度与轴率比上升均会导致视力障碍风险增加,最佳矫正视力损害情况与平均角膜曲率相关,而轴率比是最佳矫正视力损害的强力预测因子^[52]。

在近视诊断方面,对4-16岁未成年人进行统计,轴率比诊断近视灵敏度为0.962,特异度为0.839,准确度为94.85%。比较轴率比与眼轴诊断近视的ROC曲线,轴率比ROC曲线下面积为0.972,眼轴为0.922,提示轴率比在诊断近视方面具有更高的临床价值^[53]。另一项对1 024名4-6岁儿童进行统计分析中发现,远视、正视和近视的平均轴率比分别为2.90、2.95、3.08,SE与轴率比之间的相关性比眼轴或角膜曲率半径更强,在近视评估中,轴率比ROC曲线下面积为0.954,最佳临界值 ≥ 2.975 ,眼轴ROC曲线下面积为0.898^[54],均体现出轴率比在诊断近视方面优于单独使用眼轴。

9 小结

近视是我国儿童青少年最常见的眼病,病理性近视已成为我国致盲眼病的主要原因之一,在无法对所有患儿进行详细的眼底检查情况下,眼轴可作为判断眼底情况的参数之一,如前文所述,眼轴过度增长会对眼部正常结构与功能造成影响,且严重程度与其增长幅度相关联,因此在临床上遇到近视患者,尤其是眼轴过长的患儿时应警惕是否存在眼底病变,以期做到早诊断、早治疗,尽可能减少患儿潜在的视力损害风险。同时,眼轴并非判断近视患儿眼部情况的唯一参数,可结合动态发展参数(如眼轴增长速度)和形态学指标(如轴率比)进行综合评估,这对精准防控具有重要临床价值,如对于眼轴增长速度超过正常生理范围的儿童,尽管尚未近视但仍可考虑提前采取近视干预措施;如对于低曲率近视儿童,尽管其近视度数尚低但仍需警惕眼底异常情况出现等。目前,关于儿童青少年近视性视网膜病变的研究较少,轴性近视与曲率性近视两类亚型在眼底损伤模式中的差异性尚未系统阐明,近视进展速度与近视性眼底病变之间是否存在关系尚不明确,未来可以进一步完善相关研究以提供更多的理论支撑。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:曾诚杰论文选题与修改,初稿撰写,文献检索,数据分析;杨前、孟祥俊选题指导,论文修改及审阅。所有作者阅读并同意最终的文本。

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] 刘尚,许毓鹏,许迅.高度近视对眼部结构及视功能影响的研究现状与进展. *中华眼底病杂志*, 2023,39(8):690-695.
- [3] 《眼轴长度在近视防控管理中的应用专家共识(2023)》专家组.眼轴长度在近视防控管理中的应用专家共识(2023). *中华实验眼科杂志*, 2024,42(1):1-11.
- [4] Liu S, He XG, Wang JJ, et al. Association between axial length elongation and spherical equivalent progression in Chinese children and adolescents. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2022,42(5):1133-1140.
- [5] 中华医学会眼科学分会眼视光学组,中国医师协会眼科医师分会眼视光专业委员会,中国非公立医疗机构协会眼科专业委员会眼视光学组,等.高度近视防控专家共识(2023). *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2023,25(6):401-407.
- [6] 魏文斌,董力.病理性近视是近视防控的重点和难点. *安徽医科大学学报*, 2022,57(2):169-172.
- [7] Yang L, Xu YM, Zhou PY, et al. The *SNTB1* and *ZFH1B* gene have susceptibility in northern Han Chinese populations with high myopia. *Exp Eye Res*, 2023,237:109694.
- [8] Hao JW, Yang ZH, Zhang RX, et al. Crosstalk between heredity

- and environment in myopia: an overview. *Heliyon*, 2024, 10(8): e29715.
- [9] An GQ, Zhang M, Gao WN, et al. Association of a *COL1A1* gene haplotype with pathologic myopia in a Northern Chinese Han population. *Exp Eye Res*, 2025,250:110151.
 - [10] Yu MK, Hu YY, Han M, et al. Global risk factor analysis of myopia onset in children: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*, 2023,18(9):e0291470.
 - [11] Biswas S, El Karez A, Qureshi M, et al. The influence of the environment and lifestyle on myopia. *J Physiol Anthropol*, 2024, 43(1):7.
 - [12] Boote C, Sigal IA, Grytz R, et al. Scleral structure and biomechanics. *Prog Retin Eye Res*, 2020,74:100773.
 - [13] Brown DM, Kowalski MA, Paulus QM, et al. Altered structure and function of murine sclera in form-deprivation myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2022,63(13):13.
 - [14] Ruiz-Moreno JM, Puertas M, Flores-Moreno I, et al. Posterior staphyloma as determining factor for myopic maculopathy. *Am J Ophthalmol*, 2023,252:9-16.
 - [15] 蔡紫妍,刘可,段宣初.巩膜交联在病理性近视和青光眼治疗中的应用进展. *中华实验眼科杂志*, 2021,39(12):1109-1114.
 - [16] Park UC, Lee EK, Kim BH, et al. Decreased choroidal and scleral thicknesses in highly myopic eyes with posterior staphyloma. *Sci Rep*, 2021,11(1):7987.
 - [17] 曲宸颖,毕宏生,宋继科.高度近视并发后巩膜葡萄肿研究进展. *国际眼科杂志*, 2022,22(3):412-415.
 - [18] 汤文权,聂芬,周灯明,等.高度近视眼视网膜盘形态特征与盘周结构变化的研究进展. *中华眼科杂志*, 2022,58(10):843-847.
 - [19] 关新辉,刘仓仓.中低度近视青少年患者视盘参数特征:基于SD-OCT研究. *眼科新进展*, 2021,41(8):754-758.
 - [20] Zhang F, Liu X, Wang Y, et al. Characteristics of the optic disc in young people with high myopia. *BMC Ophthalmol*, 2022,22(1):477.
 - [21] Qiu KL, Wang G, Lu XH, et al. Application of the ISNT rules on retinal nerve fibre layer thickness and neuroretinal rim area in healthy myopic eyes. *Acta Ophthalmol*, 2018,96(2):161-167.
 - [22] 徐利辉,秦萍,许耀.频域OCT测量不同程度近视视网膜神经纤维层厚度中光学放大效应的影响. *中华实验眼科杂志*, 2019,37(3):206-211.
 - [23] Lin T, Su L, Lin J, et al. Study on the optic nerve fiber layer thickness and changes in blood flow in myopic children. *Int J Gen Med*, 2021,14:3287-3293.
 - [24] 闵亚兰,刘维锋.Bruch膜结构功能及其与近视的关系. *国际眼科纵览*, 2021,45(3):221-225.
 - [25] 吴敏慧,乔依琳,叶宇峰,等.不同程度近视眼视盘旁萎缩弧和脉络膜血管指数及其相关性研究. *中华眼底病杂志*, 2022, 38(10):829-834.
 - [26] Fujimoto S, Miki A, Maruyama K, et al. Three-dimensional volume calculation of intrachoroidal cavitation using deep-learning-based noise reduction of optical coherence tomography. *Transl Vis Sci Technol*, 2022,11(7):1.
 - [27] Liu R, Li ZX, Xiao O, et al. Characteristics of peripapillary intrachoroidal cavitation in highly myopic eyes: The Zhongshan Ophthalmic Center-Brien Holden Vision Institute High Myopia Cohort Study. *Retina*, 2021,41(5):1057-1062.
 - [28] Xiong SY, He XG, Zhang B, et al. Changes in choroidal thickness varied by age and refraction in children and adolescents: a 1-year longitudinal study. *Am J Ophthalmol*, 2020,213:46-56.
 - [29] Xiong SY, He XG, Deng JJ, et al. Choroidal thickness in 3001 Chinese children aged 6 to 19 years using swept-source OCT. *Sci Rep*, 2017,7:45059.
 - [30] 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.

[31] Deng JJ, Xu X, Pan CW, et al. Myopic maculopathy among Chinese children with high myopia and its association with choroidal and retinal changes: the SCALE - HM study. *Br J Ophthalmol*, 2024, 108(5):720-728.

[32] He JN, Ye LY, Chu C, et al. Using a combination of peripapillary atrophy area and choroidal thickness for the prediction of different types of myopic maculopathy. *Eye (Lond)*, 2023,37(13):2801-2809.

[33] Li ZY, Long W, Hu Y, et al. Features of the choroidal structures in myopic children based on image binarization of optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020,61(4):18.

[34] 刘玉婷, 雷颖庆, 田敏, 等. 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.

[35] 吉艳艳, 李忠庆, 王甲, 等. 青少年不同程度高度近视患者视网膜微血管变化情况. *眼科新进展*, 2022,42(5):390-393,398.

[36] 朱媛, 朱娟, 杜善双. 病理性近视黄斑病变危险因素研究. *陕西医学杂志*, 2019,48(8):1017-1020.

[37] Bullimore MA, Ritchey ER, Shah S, et al. The risks and benefits of myopia control. *Ophthalmology*, 2021,128(11):1561-1579.

[38] Jiang F, Wang DC, Xiao O, et al. Four-year progression of myopic maculopathy in children and adolescents with high myopia. *JAMA Ophthalmol*, 2024,142(3):180-186.

[39] Cheong KX, Xu LQ, Ohno-Matsui K, et al. An evidence-based review of the epidemiology of myopic traction maculopathy. *Surv Ophthalmol*, 2022,67(6):1603-1630.

[40] 纪海峰, 宋继科, 张浩, 等. 近视性视网膜劈裂研究进展. *国际眼科杂志*, 2021,21(8):1394-1398.

[41] Zheng FH, Wong CW, Sabanayagam C, et al. Prevalence, risk factors and impact of posterior staphyloma diagnosed from wide-field optical coherence tomography in Singapore adults with high myopia. *Acta Ophthalmol*, 2021,99(2):e144-e153.

[42] Shinohara K, Tanaka N, Jonas JB, et al. Ultrawide-field OCT to investigate relationships between myopic macular retinoschisis and

posterior staphyloma. *Ophthalmology*, 2018,125(10):1575-1586.

[43] Panda-Jonas S, Auffarth GU, Jonas JB, et al. Elongation of the retina and ciliary body in dependence of the sagittal eye diameter. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2022,63(10):18.

[44] Cheng SC, Lam CS, Yap MK. Prevalence of myopia-related retinal changes among 12-18 year old Hong Kong Chinese high myopes. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2013,33(6):652-660.

[45] 冯娇娇, 宋继科, 毕宏生. 近视相关视网膜格子样变性研究进展. *国际眼科杂志*, 2022,22(12):1982-1986.

[46] Nguyen HTT, Hoang TT, Pham CM, et al. Prevalence and related factors of myopic retinopathy - a hospital-based cross-section study in Vietnam. *Clin Exp Optom*, 2023,106(4):427-430.

[47] Kwok JM, Yu CW, Christakis PG. Retinal detachment. *Can Med Assoc J*, 2020,192(12):E312.

[48] Ludwig CA, Vail D, Al-Moujahed A, et al. Epidemiology of rhegmatogenous retinal detachment in commercially insured myopes in the United States. *Sci Rep*, 2023,13(1):9430.

[49] 许梅萍, 叶聪, 陈园园, 等. 近视快速增长儿童眼底神经纤维层厚度和血流参数特征. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2020, 22(6):448-454.

[50] Zhang S, Chen Y, Li Z, et al. Axial elongation trajectories in Chinese children and adults with high myopia. *JAMA Ophthalmol*, 2024, 142(2):87-94.

[51] 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*, 2023,107(10):1532-1537.

[52] Jiang Y, Wang DC, Han XT, et al. Visual impairment in highly myopic eyes: The ZOC-BHVI High Myopia Cohort Study. *Clin Exp Ophthalmol*, 2020,48(6):783-792.

[53] 杜琦波. 眼轴与角膜曲率半径的比值评估儿童青少年近视的准确性研究. *国际眼科杂志*, 2024,24(1):153-157.

[54] Tang T, Zhao H, Liu DK, et al. Axial length to corneal radius of curvature ratio and refractive error in Chinese preschoolers aged 4-6 years: a retrospective cross-sectional study. *BMJ Open*, 2023,13(12):e075115.