

不同近视防控手段对脉络膜影响的研究进展

张尚珠,王佳薇,席瑞洁,柴松

引用:张尚珠,王佳薇,席瑞洁,等.不同近视防控手段对脉络膜影响的研究进展.国际眼科杂志,2025,25(1):70-75.

作者单位:(050000)中国河北省石家庄市,河北医科大学第二医院眼科

作者简介:张尚珠,硕士,住院医师,研究方向:小儿眼科与斜视。

通讯作者:柴松,博士,主任医师,研究方向:小儿眼科与斜视。

27301501@hebmu.edu.cn

收稿日期:2024-04-24 修回日期:2024-11-19

摘要

我国近视人群呈现高发、低龄化的严峻趋势。许多研究发现近视防控手段如角膜塑形镜、低浓度阿托品滴眼液、光照、后巩膜加固术、中医相关方法等均与脉络膜的厚度、血流及相关分子生物变化有着密不可分的关联。角膜塑形镜和低浓度阿托品具有脉络膜增厚效应、脉络膜血流调控作用;配戴多点离焦防控镜具有脉络膜增厚效应;光照和哺光仪的近视防控效果在脉络膜厚度和血流上的作用也有体现;中医方法的近视防控效果体现在脉络膜微结构的改变上,但有关各种防控手段对脉络膜的远期影响仍需大样本量研究探索。文章对脉络膜与近视防控手段的关联进行综述,以说明防控手段在脉络膜层面防控近视的原理,以期对临床发现新的防控手段提供新的思路。

关键词:脉络膜厚度;脉络膜血流;近视防控

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2025.1.13

Research progress on the effects of different myopia prevention and control methods on choroid

Zhang Shangzhu, Wang Jiawei, Xi Ruijie, Chai Song

Department of Ophthalmology, the Second Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050000, Hebei Province, China

Correspondence to: Chai Song. Department of Ophthalmology, the Second Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050000, Hebei Province, China. 27301501@hebmu.edu.cn

Received: 2024-04-24 Accepted: 2024-11-19

Abstract

• In recent years, there has been a significant surge in the prevalence of myopia at younger ages in China. Numerous studies have investigated methods for preventing and controlling myopia, including orthokeratology, low-concentration atropine eye drops, light therapy, posterior scleral reinforcement, and

traditional Chinese medicine. These approaches can modulate choroidal thickness, blood flow, and target various molecular mechanisms. Orthokeratology and low-concentration atropine demonstrate a thickening effect on the choroid and regulate choroidal blood flow; the use of multi-point defocus control lenses also shows promise in thickening the choroid; the influence of light and light feeding therapy on myopia prevention and control is also reflected in the choroidal thickness and blood flow; and the traditional Chinese medicine has shown good prospect in influencing the microstructure of the choroid for myopia prevention and control. However, the long-term effects of various prevention and control measures on the choroid still need to be explored with a large sample size. This article provides an overview of various methods used to regulate the choroid and prevent myopia. The mechanisms by which these interventions act on the choroid are described to provide new insights and identify novel clinical strategies for myopia management.

• KEYWORDS: choroidal thickness; choroidal blood flow; myopia prevention and control

Citation: Zhang SZ, Wang JW, Xi RJ, et al. Research progress on the effects of different myopia prevention and control methods on choroid. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2025, 25(1): 70-75.

0 引言

近年来,近视的发病率逐年上升,临床上关于近视发生的机制研究也越来越多。因近视的发生与发展受遗传与环境因素的影响,机制复杂,可能与现代应用通讯等电子设备发达的生活方式有关^[1-2]。脉络膜位于巩膜和Bruch膜之间,是眼部的血管层。其厚度和血流的变化调节直接和间接地受到各种生理学和视觉刺激的影响,目前越来越多的证据表明,脉络膜参与了眼生长的调节,对近视的发展和治理都有潜在的影响^[3]。许多研究也发现近视患者眼底视网膜、脉络膜等微结构较早发生变化,也是高度近视患者眼轴增长、眼底疾病风险大大增加的原因^[4]。所以,各种近视防控手段如角膜塑形术、低浓度阿托品、离焦镜片、光照、哺光仪等的应用即通过减弱脉络膜结构改变这一病理变化过程而达到近视防控的效果^[5-7]。随着OCT等成像技术的迅速发展,脉络膜形态特征的测量更加清晰与准确,在脉络膜血流测定方面也取得重大突破,这使得我们对脉络膜在眼球生长中发挥的调控作用有了新的认识,为我们研究脉络膜与屈光不正及各种近视防控手段的应用提供了重要的研究条件^[8]。本文对应用不同近视防控手段后脉络膜发生的变化做一综述,以期在近视防控理论机制的研究方面提供参考,为临床制定个性化

近视防控手段提供帮助。

1 脉络膜厚度在不同近视防控手段中的变化

1.1 角膜塑形镜 角膜塑形镜是近年来控制近视进展最为显著的手段,它可以通过有效改善视网膜中央屈光度、周边屈光度、相对周边屈光度以改善近视儿童的视力状况、控制近视进展^[9]。唐文婷等^[10]研究发现,配戴角膜塑形镜 1 a 后,黄斑中心凹及水平方位的脉络膜厚度均有不同程度的增厚,这种增厚基本能在 1-3 mo 后保持稳定,而配戴框架镜的近视患儿则有不同程度的脉络膜变薄。这与 Jin 等^[11]的发现一致,除此之外他们还发现这种脉络膜的增厚,在颞侧程度最多,鼻侧最少。Chen 等^[12]也发现相似的结果。González-Méjome 等^[13]发现配戴角膜塑形镜一段时间后的患者其脉络膜厚度无显著变化,可能与其观察时间较短、研究样本量较少有关。连燕等^[14]将 68 名儿童分为框架镜组和角膜塑形镜组进行随访对比研究发现干预时间超过 1 a 的 OK 镜组儿童与近视屈光度匹配的初次戴框架镜儿童相比,脉络膜厚度无明显差异。童宇婷等^[15]在总结相关文献后发现,配戴角膜塑形镜防控近视后随访的 1 a 时间内,脉络膜厚度呈现先增加后稳定的趋势,这一变化参与了角膜塑形镜控制近视发展,但这些研究普遍样本量较少。综上,角膜塑形镜可以控制近视进展,但角膜塑形镜是否可以促进脉络膜厚度增加,配戴多长时间、多大度数配戴能发挥其最大脉络膜增厚效应还有待进一步多样本量的研究。

1.2 低浓度阿托品 1970 年代即有了关于阿托品滴眼液用于近视防控的报道^[16-17]。在过去 20 a 中其近视防控效果令人信服。然而,其确切的作用机制尚未明确。大量证据支持其浓度为 1.0% 和较低浓度(低至 0.01%)时的安全性和有效性^[18]。Chiang 等^[19]研究探讨了近视离焦和阿托品同时应用所产生的脉络膜增厚效应是否大于单独使用阿托品或单独使用光学离焦手段所引起的脉络膜厚度变化,结果表明,同时使用 0.3% 阿托品和近视离焦镜片可以提高视网膜基于近视离焦效应的近视控制效果。Yam 等^[20]研究将 314 名儿童分为 0.05% 阿托品组、0.025% 阿托品组和 0.01% 阿托品组,并观察三组儿童应用不同浓度阿托品滴眼液 2 a 后脉络膜厚度的变化情况,发现低浓度阿托品在整个治疗期间按照浓度依赖反应诱导脉络膜增厚效应,并且阿托品浓度越高,脉络膜增厚效应越明显,在所有治疗组中,脉络膜增厚与等效球镜缓慢进展、眼轴增长相关,因此脉络膜增厚反应可用于评估长期治疗结果,并作为阿托品浓度滴定指导。李蔚然^[21]研究发现长期使用 0.01% 阿托品滴眼液,近视患儿后极部大部分区域脉络膜厚度显著增加。因此长期使用低浓度阿托品滴眼液可诱导脉络膜增厚效应,有效控制近视进展。Sander 等^[22]发现后马托品可以阻断远视离焦对脉络膜厚度的变薄作用,却不能增强近视离焦的增厚作用,这也支持低浓度阿托品的脉络膜增厚效应。脉络膜的变化可能与眼睛对近视和远视模糊反应的不同途径有关,或反映了脉络膜在短期内增厚能力的上限。但阿托品作为睫状肌麻痹剂,会导致瞳孔扩大、畏光、调节力减弱、视近模糊、停药反弹、复发性过敏性睑缘炎等副作用,所以,低浓度阿托品使用的最佳浓度和长期治疗方案尚未确定^[23]。结合以上研究,可

以看出低浓度阿托品的最佳治疗浓度和相应浓度长期应用的安全性是未来研究的主要方向,还需更大量样本的临床观察探寻出安全前提下的最高效率的治疗方法,也为个性化治疗提供理论参考。

1.3 多焦点离焦镜片 多焦点离焦设计的镜片也是应用视网膜周边离焦理论起到近视防控的作用^[24]。许多研究发现配戴一定时间多焦点离焦镜片的近视患者,其脉络膜的增厚也具有统计意义。Chiang 等^[25]发现无论近视眼还是远视眼,视网膜离焦均会引起黄斑中心凹下脉络膜厚度(SFCT)的改变(5%-8%),在暴露于 2.00 D 的单眼近视离焦后 SFCT 增加,在暴露于 2.00 D 的单眼远视离焦后 SFCT 降低,且 SFCT 对于近视性离焦的反应比远视性离焦表现的更加灵敏。陈颖等^[26]对比研究 16 例配戴 OK 镜的患儿和 26 例配戴多焦点离焦镜片的患儿,两组患儿各个方位的脉络膜厚度(ChT)在戴镜后 3-6 mo 均呈上升趋势;在戴镜后 6-12 mo 趋于稳定,而戴镜 12 mo 后又呈现下降的趋势。所以视网膜周边离焦防控近视对于脉络膜厚度的影响还需进一步研究以帮助临床指导配戴多焦点离焦镜片及 OK 镜的最佳时机和配戴时长。

1.4 光照和光刺激及哺光仪 近年来,许多项研究指出,户外活动与光照强度和时长与近视防控息息相关,一定时间的光照强度能有效延缓近视进展^[27],其可能原因有多种,如户外活动和光照的保护效应可能与其促进体内多巴胺的分泌有关。Hung 等^[28]的猕猴婴儿实验发现与日常荧光照明相比,红光(630 nm)照明治疗后大大降低了婴儿猴子因过度远视离焦而患上形觉剥夺性近视(Form-deprivation myopia, FDM)或补偿性近视的可能性,他发现红光诱导的屈光发育改变与玻璃体腔伸长减少、ChT 增加有关。也说明颜色线索在灵长类动物的视觉发育中起着重要作用。Lan 等^[29]的动物模型发现强光会刺激鸡的脉络膜增厚,尽管这种反应比实验强加的近视离焦带来的变化要小,而且会延迟一段时间,但也可以证实强光刺激脉络膜产生增厚效应,从而控制近视进展。Nickla 等^[30]的动物模型是对比早上与夜晚暴露在相同近视离焦环境下的鸡的脉络膜厚度,发现夜晚近视离焦效应比早上近视离焦效应更能抑制眼轴的生长,即光照强度和时节律可以影响近视性离焦对鸡眼轴长度和脉络膜厚度的变化。因此,我们建议最好将这种近距离工作安排在当天晚些时候进行,并经常休息以更好控制眼轴的增长以达更好的防控效果。She 等^[31]发现,环境照明水平的减少会影响幼猴屈光发育的调节机制,虽然没有增加形觉剥夺性近视的程度,但会使脉络膜变薄,不利于近视控制。

Xiong 等^[32]研究表明,低强度激光(650 nm)照射治疗 6 mo 后,眼轴缩短,脉络膜增厚,与同时配戴角膜塑形镜组相比,近视控制效果更好,所以低强度光刺激可能是未来近视防控的有效方法。Torii 等^[33]将 43 例儿童配戴镜框可以发射紫外光(360-400 nm)的新型眼镜作为实验组,6 mo 后,与对照组相比,实验组儿童的脉络膜显著增厚。陈培正等^[34]研究结果显示,使用艾尔兴哺光仪(其波长为 650 nm 红光)可以在短时间内有效地补充儿童患者光照的不足,作用于脉络膜,改善眼底微循环,恢复脉络膜厚度,延缓眼轴增长。王晶等^[35]通过对比观察 650 nm 的

哺光仪、框架镜与0.01%阿托品滴眼液干预青少年近视患者,发现哺光仪与0.01%阿托品都可以增加SFCT,延缓眼轴增长从而控制近视的进展,且两种方法在使用过程中未发现眼部并发症的出现。谷志明等^[36]通过总结文献得出低能量红光(620、630、650 nm)有助于促进ChT增长的理论。Thakur等^[7]也发现不同波长和频率的光在近视防控中起到不同的作用,蓝光抑制了晶状体引起的远视离焦的影响,导致轴向长度显著减少,而暴露于红光和绿光下即使没有产生离焦效应,也会导致轴向长度显著增加,脉络膜变薄。其结果表明蓝光在增强远视离焦效应中占主导地位,提高了我们对蓝光影响眼轴变化的理解,并可能为开发涉及蓝光照射的抗近视策略奠定基础。这与王晶、陈培正等得出的650 nm哺光仪可增加SFCT的结果相反^[34-35]。且上述动物实验及临床试验对于不同波长、不同光照节律等因素对于ChT的影响尚未有统一结论。Youssef等^[37]通过对5项随机对照试验的Meta分析得出在随访3、6、12 mo时,应用低能量红光(650 nm)治疗比单独使用框架眼镜能更好地控制眼轴的伸长;随访6 mo时,SFCT与基线相比有所增加;但是长期治疗的效果和停药后的反弹效应需要进一步研究。

所以综上所述可以看出哺光仪、光照的治疗是有可观疗效的,但是长期应用对于眼底是否有损伤以及其效果的持续性、停用是否会反弹等问题还需更多研究探索不同波长节律光照对于近视防控的作用及其对脉络膜厚度等眼底微结构的影响,以指导临床光照及哺光仪对于近视儿童的应用。

1.5 后巩膜加固术 后巩膜加固术是利用生物或非生物材料对后极部薄弱的巩膜进行加固的手术,是目前可以延缓或阻止眼轴延长治疗病理性近视的一种有效手术方式。对高度近视患者行改良的后巩膜加固术可机械地加固巩膜,使眼球后极部的巩膜得到加强,进而阻止眼轴继续增长,减缓近视发展。此外还可通过改善脉络膜、视网膜的血液循环提高视功能^[38-39]。许军等^[40]研究发现后巩膜加固术可以防止眼轴过度变长,改善球后血管血流动力学并增加血流灌注,使脉络膜增厚,从而达到稳定屈光度、延缓病理性近视发展的效果。而张熙芳等^[41]发现后巩膜加固术后视网膜各层血流有显著增加,可使病理性近视患者黄斑区血液循环明显改善。临床有关后巩膜加固术的总结研究比较少,还需收集更多的研究观察后巩膜加固术对于脉络膜的影响。

2 脉络膜血流在不同近视防控手段中的变化

张逸非等^[42]研究发现在近视的发生发展过程中,脉络膜相关分子蛋白及血管发生变化,引起脉络膜变薄,从而引起一系列严重的并发症,最终视功能受损。其他研究表明,随着近视病程的进展,眼底微结构也可能发生一系列变化,比如脉络膜血管直径减小,血管密度降低^[43-44],血流量减少,脉络膜变薄等^[45]。与正常人群相比,近视患者脉络膜毛细血管灌注显著降低,且视盘周围降低的程度大于黄斑中心凹和中心凹旁区域^[46],在病理性近视患者中上述变化更为显著,而且脉络膜血流量的变化与眼轴成负相关^[47]。Wu等^[48]测量了34例青年参差近视患者的屈光不正、眼轴长度(AL)和其他生物特征参数,包括ChT

和脉络膜血管量,包括总脉络膜面积(TCA)、腔内面积(LA)、间质面积(SA)和脉络膜血管指数(CVI),发现近视程度越深,上述提示脉络膜血管和脉络膜毛细血管灌注量的指标越低。上述变化都可以看出近视向更严重的程度发展时,多伴随着脉络膜的变薄,这表明人类近视进展的过程中脉络膜血液流动容易受到干扰。

2.1 角膜塑形镜和低浓度阿托品 王怡然^[49]将92例患儿分为配戴框架眼镜和OK镜组,随访6 mo发现,OK镜与框架眼镜相比,可以增加黄斑区脉络膜厚度和血流量,可能对延缓近视发展起一定作用。Zhu等^[50]分析比较配戴OK镜治疗中低度近视患者的短期SFCT和脉络膜血流灌注量(choroidal blood perfusion, ChBP),并与配戴普通框架眼镜的患者进行比较后发现,3 mo内配戴OK镜片的低、中度近视患者在早期出现脉络膜增厚、脉络膜血管指数(CVI)增加和脉络膜毛细血管流动腔隙百分比(FV%)下降,推测脉络膜接受了OK镜引起的部分近视控制作用,OK镜调节脉络膜厚度和血液灌注,影响近视的发展。郑卓涛等^[51]发现近视儿童青少年局部使用0.01%低浓度阿托品滴眼液可以改善视网膜脉络膜微循环,增加脉络膜血流灌注量,使脉络膜显著增厚,视网膜轻度增厚,从而延缓近视的进展。综合前面这两种防控手段对于脉络膜厚度的影响,可以看出脉络膜血流与厚度的变化是相辅相成的,关于血流变化的研究较厚度变化的研究少,未来还需更多大样本量研究近视防控中脉络膜血流的变化,以便为研制新的防控手段寻找切入点。

2.2 光照和哺光仪 国内外已有临床研究发现重复低强度红光(RLRL)照射能够作为辅助手段帮助儿童青少年治疗近视,但目前尚无统一标准,无法预测不良反应^[52]。Zhou等^[53]发现接受RLRL照射的儿童脉络膜厚度有所增加。Wu等^[54]的小鼠实验发现近视是因为眼轴的不适当伸展和细胞外基质(ECM)重塑引起的巩膜强度和厚度下降引起的,他们发现缺氧在巩膜ECM重塑和近视发展中的重要作用,会加速上述过程,所以通过改善近视眼底相对供氧不足的问题,会起到控制近视的效果。有学者推测RLRL眼部照射可引起脉络膜血流增加,进而增加脉络膜厚度、血液循环及供血量,从而改善了氧供,达到了近视防控的效果^[28,55-56]。Tian等^[57]发现脉络膜作为一种高度血管化的结构,位于视网膜和巩膜之间,为相邻结构提供氧气和营养物质,并通过控制脉络膜的厚度变化进而调整视网膜的位置,释放与调节血管形成、巩膜重塑和眼球生长有关的细胞因子和酶,从而增加脉络膜厚度和其血流灌注量。王裕川等^[58]研究提出光照防控近视的2种可能途径:(1)强光增加脉络膜厚度和脉络膜血流灌注量;(2)可能是通过缩瞳进而增加焦深,削弱远视离焦的作用,从而使脉络膜血流灌注增加且增厚。以上研究可以看出脉络膜不同层次血流密度的变化常是厚度变化的原因。

3 中医相关近视防控手段中脉络膜的改变

近年来,随着中医技术的逐步发展,在控制近视进展方面,也有许多相关的研究,许多研究证实通过某些中医手段可以控制近视进展,其在抑制眼轴增长,控制眼底微结构病变等方面有帮助。张月强^[59]发现益精通络方在抑制脉络膜萎缩及增加游离多巴胺含量方面与0.01%阿托

品滴眼液并无差异。庞亚铮^[60]发现“四明穴”推拿能减缓透镜诱导近视模型屈光度的发展,延缓眼轴增长速度,对抑制近视的发展有干预作用,可能与推拿能维护巩膜和视网膜组织结构完整性和细胞形态的正常化和脉络膜血管数量有关。张月梅等^[61]发现对于假性近视患者,与对照组(单纯采用复方托吡卡胺滴眼液点眼;每晚睡前点眼2次,间隔3-5 min,4 wk为1个疗程,共治疗2个疗程)相比,加上中医综合疗法(中药雾化、中药眼贴、耳穴埋籽)的治疗,其近视治疗效果较好,并且可以增加黄斑中心凹下脉络膜厚度及黄斑区浅层血流密度,短期观察无不良反应。曲宸颖^[62]发现通过3 mo的经皮穴位电刺激(TEAS)的Eye-TEAS干预后,脉络膜厚度以及脉络膜、视网膜血流密度均有所增加,裸眼远视力及等效球镜度数得到改善,且随着干预的时间越长,治疗效果越好。因此Eye-TEAS能够通过对穴位的刺激改善脉络膜、视网膜的血流状况延缓近视的进展。对68例大学生近视受试者,经Eye-TEAS干预后,视网膜浅层(SVC)、视网膜深层(DVC)、脉络膜层毛细血管密度(CC)、SFCT等值均较治疗前增大。有研究^[63]观察到电针干预后脉络膜毛细血管血流密度上升,脉络膜血流改善,脉络膜内皮素-1(ET-1,于1988年首次从猪主动脉内皮细胞的培养上清液中分离出来一种有效的血管收缩剂,是评估眼内血动力的有用标志,在角膜上皮、睫状体、脉络膜以及视网膜血管内皮细胞中均有表达)及其受体含量下调。然而,具体信号分子及发展机制尚未完全明确,仍需进一步研究。目前临床还需大量实践验证中医相关近视防控方法对于脉络膜的影响。

4 脉络膜相关分子生物学的研究

近年来,有关近视发展的病理及近视防控过程中的分子生物学变化的研究也有很多,例如关于阿托品治疗过程中,脉络膜增厚的机制有几种发现:阿托品可刺激视网膜多巴胺形成以及一氧化氮(NO)的释放,有动物实验表明多巴胺和NO参与近视防控的过程,阿托品中添加NO抑制剂会使其近视防控效果变差;Ye研究推测NO可以放松脉络膜血管及非血管平滑肌,影响脉络膜血管壁的收缩进而影响血流和基质成分^[51,64-67]。Wu等^[48]研究发现,近视眼的脉络膜变薄主要归因于Haller层和Sattler层的损失。这两层的减少,再加上脉络膜血管和绒毛膜毛细血管血流灌注降低、血管密度降低,表明近视眼脉络膜血容量减少。有研究^[63]发现随着近视的发生发展脉络膜变薄,ET-1及其受体表达水平明显上调,可能是ET-1通过与内皮素受体A(ETAR)及受体B(ETBR)结合引起了脉络膜血管的收缩,导致脉络膜血流降低影响近视的发展。Pan等^[68]在动物模型中证明了膳食补充剂omega-3多不饱和脂肪酸($\omega-3$ PUFAs)可以减缓近视的发展。 $\omega-3$ PUFAs,特别是DHA,通过抑制ChBP的降低,减轻巩膜缺氧,抑制近视发展。此外,在年轻人中,由近距离工作(一种被提出的近视危险因素)引起的ChBP下降可以通过补充膳食 $\omega-3$ PUFAs部分缓解。当 $\omega-3$ PUFAs的安全性和有效性在未来的临床研究中得到证实后, $\omega-3$ PUFAs应该是控制人类近视的有力候选者。Li等^[69]通过研究近视脉络膜的病理变化,发现一种环状RNA(circFoxO1)可

抑制脉络膜内皮细胞的活力、增殖、迁移和血管形成,减轻了体内和离体脉络膜血管功能障碍。所以,通过调节circFoxO1水平改善脉络膜血管功能障碍是预防和治疗的潜在策略。

5 小结

角膜塑形镜、低浓度阿托品、光照哺光仪及中医手段在近视防控过程中多数研究还是体现出其作用在脉络膜上的正向效应,说明脉络膜在近视防控领域可以作为很多手段作用的靶点,为日后新的近视防控手段的研究提供参考。但要注意其同时带来的副作用,尤其注意是否有不可逆损害。

综上所述,在近视的进展过程中,脉络膜的厚度、血流及分子生物学都有不可忽略的变化,并且脉络膜不同层次血流的变化常是厚度变化的原因,二者息息相关。这些变化有助于我们进一步研究近视的病理机制,完善现有防控手段的不足,更有助于为寻找新的防控手段提供理论依据。然而关于脉络膜血流、相关分子生物变化方面的研究还比较少,后续需要更多更详细的研究进一步探知。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:张尚珠论文选题与修改,初稿撰写;王佳薇协助选题;席瑞洁文献检索;柴松选题指导,数据分析,论文修改。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

- [1] 刘念恩,刘思祎,张琰. 视网膜信号分子在近视发生和进展中的作用. 中华眼底病杂志, 2023,39(8):696-700.
- [2] Baird PN, Saw SM, Lanca C, et al. Myopia. Nat Rev Dis Primers, 2020,6(1):99.
- [3] 国际近视研究院,陈玳西,杨金柳行,等. 国际近视研究院关于动态脉络膜的报告. 中华实验眼科杂志, 2024,42(2):172-184.
- [4] Vincent SJ, Collins MJ, Read SA, et al. Retinal and choroidal thickness in myopic anisometropia. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2013,54(4):2445-2456.
- [5] 黄建峰,张晓培,李童燕,等. 角膜塑形镜离焦技术在近视防控中的研究进展. 国际眼科杂志, 2023,23(4):578-581.
- [6] Hvid-Hansen A, Jacobsen N, Hjortdal J, et al. Low-dose atropine induces changes in ocular biometrics in myopic children: exploring temporal changes by linear mixed models and contribution to treatment effect by mediation analyses. J Clin Med, 2023,12(4):1605.
- [7] Thakur S, Dhakal R, Verkicharla PK. Short-term exposure to blue light shows an inhibitory effect on axial elongation in human eyes independent of defocus. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2021,62(15):22.
- [8] 代小婵,张静,鞠雅晗,等. 近视发生发展中脉络膜变化的研究进展. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2022,24(5):395-400.
- [9] 陈奕富,陈运信,郑海生,等. 角膜塑形镜对儿童近视控制的可能机制研究. 湖南师范大学学报(医学版), 2021,18(3):263-266.
- [10] 唐文婷,田美,张莉,等. 角膜塑形镜对近视青少年脉络膜厚度的影响研究. 中国眼耳鼻喉科杂志, 2021,21(1):29-33.
- [11] Jin WQ, Huang SH, Jiang J, et al. Short term effect of choroid thickness in the horizontal meridian detected by spectral domain optical coherence tomography in myopic children after orthokeratology. Int J Ophthalmol, 2018,11(6):991-996.
- [12] Chen Z, Xue F, Zhou JQ, et al. Effects of orthokeratology on choroidal thickness and axial length. Optom Vis Sci, 2016,93(9):1064-1071.

- [13] González-Méijome JM, Faria-Ribeiro MA, Lopes-Ferreira DP, et al. Changes in peripheral refractive profile after orthokeratology for different degrees of myopia. *Curr Eye Res*, 2016,41(2):199-207.
- [14] 连燕, 金婉卿, 毛欣杰, 等. 框架眼镜与角膜塑形镜矫正的近视儿童脉络膜厚度差异比较研究. *眼科新进展*, 2017, 37(5): 431-434.
- [15] 童宇婷, 马晓琪, 周跃华. 儿童青少年佩戴角膜塑形镜后不同时间点脉络膜厚度变化的 Meta 分析. *中医眼耳鼻喉杂志*, 2023, 13(4):185-189.
- [16] 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. 低浓度阿托品滴眼液在儿童青少年近视防控中的应用专家共识(2022). *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2022, 24(6):401-409.
- [17] Bedrossian RH. The effect of atropine on myopia. *Ann Ophthalmol*, 1971,3(8):891-897.
- [18] Galvis V, Tello A, Parra MM, et al. Topical atropine in the control of myopia. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol*, 2016, 5(3): 78-88.
- [19] Chiang ST, Turnbull PRK, Phillips JR. Additive effect of atropine eye drops and short-term retinal defocus on choroidal thickness in children with myopia. *Sci Rep*, 2020,10(1):18310.
- [20] Yam JC, Jiang YN, Lee J, et al. The association of choroidal thickening by atropine with treatment effects for myopia: two-year clinical trial of the low-concentration atropine for myopia progression (LAMP) study. *Am J Ophthalmol*, 2022,237:130-138.
- [21] 李蔚然. 低浓度阿托品滴眼液对近视儿童眼部参数的影响. 上海交通大学, 2022.
- [22] Sander BP, Collins MJ, Read SA. The interaction between homatropine and optical blur on choroidal thickness. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2018,38(3):257-265.
- [23] 刘颖, 郭彦芳, 孙红双, 等. 角膜塑形镜联合 0.01%阿托品滴眼液治疗青少年近视. *国际眼科杂志*, 2023,23(8):1279-1284.
- [24] 张艳明, 杨嘉丽. 周边离焦技术在近视防控中的应用. *玻璃搪瓷与眼镜*, 2022,50(5):30-34.
- [25] Chiang ST, Phillips JR, Backhouse S. Effect of retinal image defocus on the thickness of the human choroid. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2015,35(4):405-413.
- [26] 陈颖, 刘晓庆, 周瑜峰, 等. 脉络膜厚度在角膜塑形镜和周边离焦型镜片框架镜控制近视患者中的差异. *眼科新进展*, 2023,43(2):131-136.
- [27] 刁运堂, 林文毅, 李宇星. 户外活动与体育锻炼对防控儿童青少年近视眼的研究热点和展望. *运动精品*, 2021,40(1):60-62.
- [28] Hung LF, Arumugam B, She ZH, et al. Narrow-band, long-wavelength lighting promotes hyperopia and retards vision-induced myopia in infant Rhesus monkeys. *Exp Eye Res*, 2018,176:147-160.
- [29] Lan W, Feldkaemper M, Schaeffel F. Bright light induces choroidal thickening in chickens. *Optom Vis Sci*, 2013, 90(11): 1199-1206.
- [30] Nickla DL, Thai P, Zanzerkia Trahan R, et al. Myopic defocus in the evening is more effective at inhibiting eye growth than defocus in the morning: effects on rhythms in axial length and choroid thickness in chicks. *Exp Eye Res*, 2017,154:104-115.
- [31] She ZH, Hung LF, Arumugam B, et al. The effects of reduced ambient lighting on lens compensation in infant Rhesus monkeys. *Vision Res*, 2021,187:14-26.
- [32] Xiong F, Mao T, Liao HF, et al. Orthokeratology and low-intensity laser therapy for slowing the progression of myopia in children. *Biomed Res Int*, 2021,2021:8915867.
- [33] Torii H, Mori K, Okano T, et al. Short-term exposure to violet light emitted from eyeglass frames in myopic children: a randomized pilot clinical trial. *J Clin Med*, 2022,11(20):6000.
- [34] 陈培正, 张宏亮, 王晶晶, 等. 艾尔兴哺光仪控制青少年、儿童近视疗效分析. *实用中西医结合临床*, 2018,18(10):63-64,106.
- [35] 王晶, 刘志英, 董竟. 不同防控方法对近视儿童脉络膜厚度变化的影响. *中国斜视与小兒眼科杂志*, 2023,31(3):30-33.
- [36] 谷志明, 兰长骏, 钟维琪, 等. 低能量红光对近视儿童脉络膜厚度和等效球镜度及眼轴长度的影响. *国际眼科杂志*, 2023,23(5): 791-796.
- [37] Youssef MA, Shehata AR, Adly AM, et al. Efficacy of repeated low-level red light (RLRL) therapy on myopia outcomes in children: a systematic review and meta-analysis. *BMC Ophthalmol*, 2024, 24(1):78.
- [38] 张春侠, 靳文燕, 王东林. 后巩膜加固术临床疗效的研究进展. *中国实用眼科杂志*, 2012,30(10):1143-1146.
- [39] 刘亚妮, 赵小莹, 唐蓓, 等. 改良的后巩膜加固术治疗高度近视的疗效评估及护理. *中国药物与临床*, 2020,20(3):483-485.
- [40] 许军, 彭程, 杨德琪, 等. 后巩膜加固术对病理性近视球后血管血流动力学及脉络膜厚度的影响. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2016,18(5):264-268.
- [41] 张熙芳, 乔利亚, 李晓霞, 等. 病理性近视眼患者后巩膜加固术后视网膜及脉络膜厚度与血流改变的初步研究. *中华眼科杂志*, 2017,53(1):39-45.
- [42] 张逸非, 都婉红, 赵梅生, 等. OCTA 检测高度近视患者视网膜脉络膜厚度及血流变化的研究进展. *国际眼科杂志*, 2023,23(04): 597-601.
- [43] Hirata A, Negi A. Morphological changes of choriocapillaris in experimentally induced chick myopia. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 1998,236(2):132-137.
- [44] Junghans BM, Crewther SG, Liang H, et al. A role for choroidal lymphatics during recovery from form deprivation myopia? *Optom Vis Sci*, 1999,76(11):796-803.
- [45] Shih YF, Fitzgerald ME, Norton TT, et al. Reduction in choroidal blood flow occurs in chicks wearing goggles that induce eye growth toward myopia. *Curr Eye Res*, 1993,12(3):219-227.
- [46] Mastropasqua R, Viggiano P, Borrelli E, et al. *In vivo* mapping of the choriocapillaris in high myopia: a widefield swept source optical coherence tomography angiography. *Sci Rep*, 2019,9(1):18932.
- [47] 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.
- [48] Wu H, Zhang GY, Shen MX, et al. Assessment of choroidal vascularity and choriocapillaris blood perfusion in anisomyopic adults by SS-OCT/OCTA. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2021,62(1):8.
- [49] 王怡然. 角膜塑形镜对儿童角膜、眼轴和脉络膜厚度及血流的影响. 郑州大学, 2021.
- [50] Zhu Q, Zhao Q. Short-term effect of orthokeratology lens wear on choroidal blood flow in children with low and moderate myopia. *Sci Rep*, 2022,12(1):17653.
- [51] 郑卓涛, 张凌月, 封炎, 等. 低浓度阿托品滴眼液对近视儿童青少年视网膜与脉络膜厚度及微循环的影响. *眼科新进展*, 2023,43(11):887-892.
- [52] 《重复低强度红光照射辅助治疗儿童青少年近视专家共识》专家组, 许迅, 何明光, 等. 重复低强度红光照射辅助治疗儿童青少年近视专家共识(2022). *中华实验眼科杂志*, 2022,40(7):599-603.

- [53] Zhou L, Xing C, Qiang W, et al. Low-intensity, long-wavelength red light slows the progression of myopia in children: an Eastern China-based cohort. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2022,42(2):335-344.
- [54] Wu H, Chen W, Zhao F, et al. Scleral hypoxia is a target for myopia control. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2018, 115 (30): E7091-E7100.
- [55] Smith EL 3rd, Hung LF, Arumugam B, et al. Effects of long-wavelength lighting on refractive development in infant Rhesus monkeys. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2015,56(11):6490-6500.
- [56] Gawne TJ, Ward AH, Norton TT. Long-wavelength (red) light produces hyperopia in juvenile and adolescent tree shrews. *Vision Res*, 2017,140:55-65.
- [57] Tian FF, Zheng DQ, Zhang J, et al. Choroidal and retinal thickness and axial eye elongation in Chinese junior students. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2021,62(9):26.
- [58] 王裕川, 刘芳, 曹妙, 等. 户外光照在近视防控中作用机制的研究进展. *中国中医眼科杂志*, 2023,33(10):986-989.
- [59] 张月强. 益精通络方对离焦型近视豚鼠眼部结构及视网膜 DAT 含量影响的研究. *中国中医科学院*, 2020.
- [60] 庞亚铮. “四明穴”为主小儿推拿干预轻中度近视的临床及实验研究. *山东中医药大学*, 2023.
- [61] 张月梅, 沈建瑞, 张云霞, 等. 中医综合疗法对假性近视患者黄斑处脉络膜厚度及微血流密度的影响. *天津中医药大学学报*, 2023,42(5):551-557.
- [62] 曲宸颖. 基于 OCT/OCTA 技术开展经皮穴位电刺激干预大学生近视的疗效评价研究. *山东中医药大学*, 2023.
- [63] Powierza K, Zelazowska-Rutkowska B, Sawicka-Powierza J, et al. Endothelin-1 serum concentration is lower in children and adolescents with high myopia, a preliminary study. *J Clin Med*, 2020,9(5):1327.
- [64] Ye LY, Shi Y, Yin Y, et al. Effects of atropine treatment on choroidal thickness in myopic children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020, 61(14):15.
- [65] Zhou XT, Pardue MT, Iuvone PM, et al. Dopamine signaling and myopia development: what are the key challenges. *Prog Retin Eye Res*, 2017,61:60-71.
- [66] Carr BJ, Stell WK. Nitric oxide (NO) mediates the inhibition of form-deprivation myopia by atropine in chicks. *Sci Rep*, 2016,6(1):9.
- [67] Mathis U, Feldkaemper M, Wang M, et al. Studies on retinal mechanisms possibly related to myopia inhibition by atropine in the chicken. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2020,258(2):319-333.
- [68] Pan MZ, Zhao F, Xie BT, et al. Dietary ω -3 polyunsaturated fatty acids are protective for myopia. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2021,118(43):e2104689118.
- [69] Li D, Liu C, Sun YN, et al. Targeting choroidal vascular dysfunction *via* inhibition of circRNA - FoxO1 for prevention and management of myopic pathology. *Mol Ther*, 2021,29(7):2268-2280.