

儿童脉络膜血管指数日节律幅度与等效球镜度数及眼轴变化的相关性研究

杨叶¹, 林志阳², 周子微¹, 沈梅晓¹

引用: 杨叶, 林志阳, 周子微, 等. 儿童脉络膜血管指数日节律幅度与等效球镜度数及眼轴变化的相关性研究. 国际眼科杂志, 2025, 25(5): 858-862.

基金项目: 温州市基础性科研项目 (No. Y20210967)

作者单位: ¹(325027) 中国浙江省温州市, 温州医科大学附属眼视光医院 国家眼耳鼻喉疾病临床医学研究中心 (眼部疾病); ²(323020) 中国浙江省丽水市中心医院眼科

作者简介: 杨叶, 硕士研究生, 主治医师, 研究方向: 近视、眼科特检成像。

通讯作者: 沈梅晓, 博士研究生, 研究员, 博士研究生导师, 研究方向: 眼成像新技术及其在眼科应用. smx77@mail.eye.ac.cn

收稿日期: 2024-11-04 修回日期: 2025-03-28

摘要

目的: 观察学龄儿童的脉络膜血管指数 (CVI) 基础日节律幅度与年等效球镜度数 (SE) 及年眼轴变化量的相关性。

方法: 前瞻性研究。选取 2021-07/08 在温州医科大学附属眼视光医院视光门诊诊断为正视和近视屈光不正的 7-12 岁汉族学龄儿童共 39 例 39 眼, 其中有 6 例未完成 1 a 随访, 最终纳入 33 例 33 眼, 将 SE 年增长量 < 0.5 D 分为非进展组 16 例 16 眼, SE 年增长量 ≥ 0.5 D 分为进展组 17 例 17 眼。使用扫频源光学断层扫描技术和脉络膜量化分析软件, 纵向观察参与者的 CVI 日节律幅度, 并分析其与 SE 及眼轴年变化量的相关性。

结果: 非进展组脉络膜黄斑中心凹 1 mm 处 CVI 日节律幅度与 SE 年变化量无显著相关性 ($P=0.65$), 而进展组脉络膜黄斑中心凹 1 mm 处 CVI 日节律幅度与 SE 年变化量呈负相关性 ($P=0.048$), 两组 CVI 日节律幅度与眼轴年变化量无相关性 (均 $P>0.05$)。进展组脉络膜黄斑中心凹 1 mm 处 CVI 日节律幅度是 SE 年变化量的影响因素 ($P=0.039$), 而眼轴的日节律幅度及眼轴年变化量、CVI 日最大值时间 (峰时), 日最小值时间 (谷时) 对 SE 年进展影响不显著 (均 $P>0.05$)。

结论: 学龄儿童的 CVI 日节律幅度与 SE 进展具有一定相关性, 为进一步理解近视发生发展过程中的脉络膜相关的变化机制提供一定的依据。

关键词: 脉络膜血管指数; 日节律; 幅度; 等效球镜度; 眼轴 DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2025.5.30

Association between the diurnal rhythm amplitude of choroidal blood flow index and the progression of spherical equivalent and axial length in children

Yang Ye¹, Lin Zhiyang², Zhou Ziwei¹, Shen Meixiao¹

Foundation item: Basic Research Projects in Wenzhou (No. Y20210967)

¹Eye Hospital, Wenzhou Medical University; National Clinical Research Center for Ocular Diseases, Wenzhou 325027, Zhejiang Province, China; ²Department of Ophthalmology, Lishui Municipal Central Hospital, Lishui 323020, Zhejiang Province, China

Correspondence to: Shen Meixiao. Eye Hospital, Wenzhou Medical University; National Clinical Research Center for Ocular Diseases, Wenzhou 325027, Zhejiang Province, China. smx77@mail.eye.ac.cn

Received: 2024-11-04 Accepted: 2025-03-28

Abstract

• AIM: To explore the relationship between the amplitude of diurnal variations in the choroidal vascular index (CVI) and annual changes in spherical equivalent (SE) and axial length in school-aged children.

• METHODS: Prospective study. Totally 39 cases (39 eyes) of Chinese school-age children aged 7 to 12 that diagnosed as emmetropia and myopia and error of refraction at optometry clinics of Eye Hospital, Wenzhou Medical University from July to August 2021 were selected. While 33 cases (33 eyes) were finally included, with 6 cases of loss to 1 a follow-up. A total of 16 cases (16 eyes) with annual growth of SE < 0.5 D and 17 cases (17 eyes) with annual growth of SE ≥ 0.5 D were divided into a non-progression group and progression group, respectively. Swept-source optical coherence tomography (SS-OCT) and custom choroidal analysis software were used to longitudinally observe diurnal variations in CVI of subjects, and the association between CVI diurnal amplitude and annual changes in SE and axial length was analyzed.

• RESULTS: It showed no significant correlation between the CVI diurnal amplitude at 1 mm from the fovea and annual changes in SE of the non-progressive group ($P=0.65$), while in the progression group, the CVI diurnal amplitude at 1 mm from the fovea was negatively correlated with annual changes in SE ($P=0.048$). However, no significant correlation was identified between CVI diurnal amplitude and annual changes in axial length in either group (all $P>0.05$). The diurnal amplitude of the CVI at the 1 mm foveal center had an effect on annual SE progression ($P=0.039$). Conversely, the diurnal amplitude of axial length, the annual changes in axial length, and the maximum or minimum time of CVI demonstrated significant associations with SE progression (all $P>0.05$).

• CONCLUSION: Diurnal variations in CVI amplitude are

associated with SE progression in school-aged children, providing a basis for further understanding the choroid-related changes in the process of myopia onset and progression.

• **KEYWORDS:** choroidal vascular index; diurnal rhythm; amplitude; spherical equivalent; axial length

Citation: Yang Y, Lin ZY, Zhou ZW, et al. Association between the diurnal rhythm amplitude of choroidal blood flow index and the progression of spherical equivalent and axial length in children. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2025, 25(5): 858-862.

0 引言

脉络膜位于视网膜与巩膜之间,是一层富含血管的组织,主要负责为视网膜外层和巩膜提供血液供应和营养支持^[1],目前,脉络膜血管指数(choroidal vascular index, CVI)已被广泛用于评估脉络膜的血流状态和供血状况^[2-4]。根据近视巩膜缺氧学说,近视患者脉络膜血流和供氧减少,使视网膜和巩膜处于缺氧状态,进而影响巩膜外基质结构,导致眼轴延长^[5],因此,脉络膜血流灌注的评估可能成为预测近视发生和发展的敏感指标^[6]。动物实验显示脉络膜节律可能参与眼球发育调控^[7-8],且不同等效球镜度数(spherical equivalent, SE)状态的个体中,脉络膜节律幅度存在显著差异^[9]。在人眼研究中,近视个体通常表现出较低的 CVI 和较小的日节律振幅^[6,10],然而,先前研究主要集中于已趋于 SE 稳定的成年个体,使得脉络膜血流节律在 SE 变化过程中的相关性仍缺乏充分依据^[9,11]。本研究通过对近视发生发展中的儿童进行观察,利用扫频源光学断层扫描技术(swept-source optical coherence tomography angiography, SS-OCTA)和脉络膜量化分析软件,探索脉络膜血管指数日节律变化与儿童 SE 及眼轴变化的关联性。

1 对象和方法

1.1 对象 本研究为前瞻性研究,连续纳入 2021-07/08 在温州医科大学附属眼视光医院视光门诊诊断为正视和近视屈光不正的 7-12 岁汉族学龄儿童共 39 例 39 眼,其中有 6 例未完成 1 a 随访,最终纳入为 33 例 33 眼。根据 SE 年变化量,将参与者分为非进展组 16 例 16 眼和进展组 17 例 17 眼,其中 SE 年增长量 <0.5 D 为非进展组,SE 年增长量 ≥ 0.5 D 为进展组。纳入标准:(1)年龄 7-12 岁;(2)SE 在 $+0.50$ - -5.00 D;(3)散光度数小于 -1.0 D;(4)双眼远矫正视力 ≥ 1.0 ;(5)眼压在 10 - 21 mmHg;(6)BMI 指数在 18.5 - 23.9 kg/m²。排除标准:(1)双眼 SE 差异大于 1.0 D;(2)既往使用过预防或控制近视发展的药物、离焦框架眼镜或角膜接触镜;(3)有斜视、弱视等眼病史;(4)眼部炎症性疾病、手术史、外伤史以及全身或眼部器质性病变等。本研究遵循《赫尔辛基宣言》的伦理原则,取得医学伦理委员会审查批准(批准号:2021-153-K-132-01),所有参与者及其监护人均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 身体及眼球生物学参数测量 每位参与者均被告知在实验采集前 1 wk,按照日常作息生活,测量前 1 d 睡前及测量当日勿进行大量饮水,大量运动等不同于日常的行

为。基础 SE 于基线日 8:00-9:00 测量 1 次,由同一位经验丰富的视光师在自然瞳孔下进行主观验光,并以 SE 表示,SE=球镜度数+ $1/2$ 柱镜度数。基础眼轴长度取基线日 9:00 测量值。眼轴长度日节律测量使用 IOLMATER-700 设备,分别于 9:00、12:00、15:00 和 17:00 进行测量。所有参与者需进行为期 1 a 的随访,每 6 mo 随访 1 次,共随访 2 次。在第 1 次和第 2 次随访时于 8:00-10:00 测量每位参与者的右眼 SE、眼轴长度等生物学参数。SE 和眼轴年变化量取基础值和第 2 次随访测量值之间的差值。每位参与者的眼轴和 CVI 日节律幅度的计算为每个人日检测 4 个时间点中的最大值减最小值。

1.2.2 脉络膜图像采集 脉络膜图像采集采用视微扫频源光学相干血流成像系统(VG200S)进行,扫描中心波长为 1050 nm(带宽 990 - 1100 nm),扫描速率为 200000 次 A-scan/s,组织中轴向分辨率为 5 μ m。扫描范围为以黄斑中心凹为中心的 12 mm \times 12 mm,扫描深度为 3 mm。脉络膜图像日节律扫描时间为基线日的 9:00、12:00、15:00 及 17:00。数据量化通过本实验室开发的 Matlab 量化软件完成,软件的重复性已在先前研究中得到验证^[12-13]。分析时以黄斑中心凹为中心,选取直径 1 mm 水平方向的 CVI 值(图 1)。所有图像均由同一名经验丰富的操作医师采集,采集过程中保持室内环境亮度恒定,并确保参与者具备良好的固视能力。

统计学方法:统计学分析采用 SPSS 26.0 统计软件进行。符合正态分布的计量资料均以均值 \pm 标准差表示,组间比较采用独立样本 t 检验;两组日节律幅度比较采用重复测量数据的方差分析,进一步两两比较采用 LSD- t 检验。计数资料以 n (%) 表示,组间比较采用卡方检验。SE 年变化量、眼轴年变化量和 CVI 日节律幅度的相关性通过 Pearson 相关性分析进行评估。多元线性回归分析 SE 年变化量的影响因素。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组参与者的一般资料 本研究共纳入参与者 39 例 39 眼,其中男 19 例 19 眼(49%),女 20 例 20 眼(51%)。由于其中 6 例未能完成随访,最终完成两次随访的参与者为 33 例 33 眼,男 16 例 16 眼(48%),女 17 例 17 眼(52%)。非进展组 16 例 16 眼(其中男 9 例,女 7 例),平均年龄为 9.38 ± 1.59 岁,基线 BMI 为 17.63 ± 2.77 kg/m²,年 BMI 变化量为 0.30 ± 1.44 kg/m²,基线 SE 为 -1.00 ± 1.73 D,年增长量绝对值为 0.12 ± 0.17 D,眼轴长度基线值 24.42 ± 0.9 mm,年眼轴增长量为 0.23 ± 0.14 mm;进展组 17 例 17 眼(其中男 7 例,女 10 例),平均年龄为 9.56 ± 1.36 岁,基线 BMI 为 17.02 ± 1.88 kg/m²,年 BMI 变化量为 0.57 ± 1.29 kg/m²,基线 SE 为 -1.24 ± 1.56 D,年 SE 变化量绝对值为 0.61 ± 0.15 D,眼轴长度基线值为 24.37 ± 1.32 mm,年眼轴增长量为 0.40 ± 0.17 mm。非进展组与进展组的平均年龄、性别及年 BMI 增长量比较差异无统计学意义($P=0.68, 0.40, 0.58$),但两组的年 SE 变化量和眼轴变化量比较差异有统计学意义($P<0.001, P=0.003$)。其中所有参与者的 SE 年变化量与其眼轴的年变化量存在显著相关性($r=-0.614, P<0.001$),见图 2。

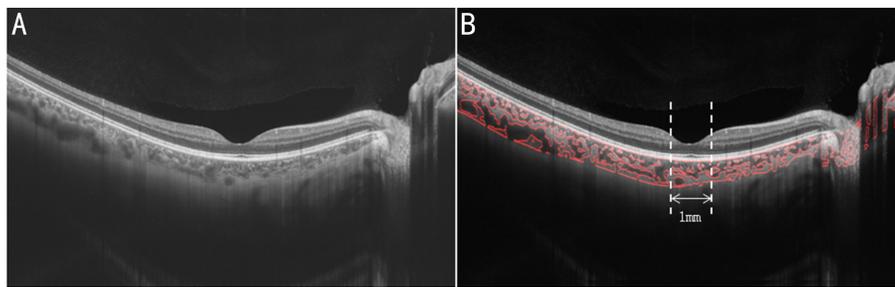


图1 脉络膜图像分析示意图 A:SS-OCTA 采集原图;B:经 Matlab 脉络膜程序量化分析图像。

表1 非进展组和进展组眼轴及 CVI 日节律比较

分组	眼数	参数	9:00	12:00	15:00	17:00	$\bar{x} \pm s$
非进展组	16	眼轴(mm)	24.423±0.949	24.441±0.946	24.439±0.944	24.435±0.941	
		CVI(%)	59.415±2.619	58.840±2.990	59.433±2.565	60.161±1.959	
进展组	17	眼轴(mm)	24.374±1.321	24.384±1.326	24.379±1.327	24.381±1.327	
		CVI(%)	60.281±2.348	60.095±2.674	59.231±2.759	59.573±2.582	

注:SE 年增长量小于 0.5 D 为非进展组,SE 年增长量大于 0.5 D 为进展组。

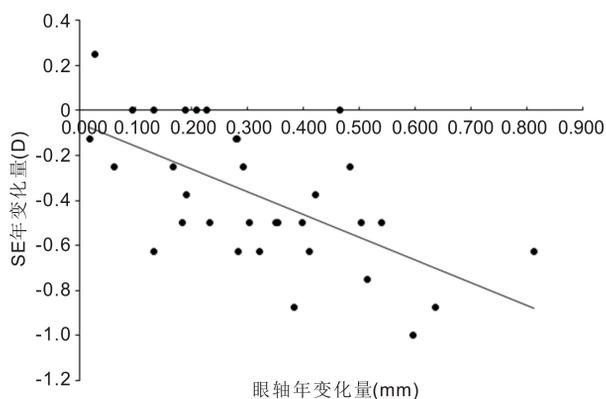


图2 所有参与者 SE 年变化量与眼轴年变化量的相关性。

2.2 两组眼轴和黄斑区 CVI 日节律比较 非进展组及进展组 CVI 存在日节律变化趋势 ($F_{\text{时间}} = 5.37, P_{\text{时间}} = 0.003$; $F_{\text{组间}} = 3.01, P_{\text{组间}} = 0.043$);非进展组及进展组眼轴长度日节律比较差异有统计学意义 ($F_{\text{时间}} = 9.393, P_{\text{时间}} < 0.001$; $F_{\text{组间}} = 4.718, P_{\text{组间}} = 0.005$),见表 1。非进展组眼轴日节律幅度 ($0.027\% \pm 0.015\%$) 和 CVI 的日节律幅度 ($3.71\% \pm 1.56\%$) 均表现出大于进展组 ($0.021\% \pm 0.010\%$ 、 $2.97\% \pm 1.17\%$) 的趋势 ($t = 2.03, P = 0.047$; $t = 2.14, P = 0.042$)。

2.3 两组参与者 SE 年变化量及眼轴年变化量与 CVI 日节律幅度的相关性 非进展组 SE 年变化量与 CVI 日节律幅度没有显著相关性 ($r = -0.124, P = 0.65$),进展组 SE 年变化量与 CVI 日节律幅度呈负相关性 ($r = -0.486, P = 0.048$),两组眼轴的年变化量与 CVI 日节律幅度均无相关性 ($P = 0.25, 0.39$),见图 3。

2.4 进展组中 SE 年变化量与各因素的多元线性回归分析 在进展组中,使用多元线性回归分析发现,CVI 日节律幅度的回归系数为 -12.665 ,CVI 日节律幅度是 SE 年变化量的影响因素 ($P = 0.039$)。其他变量如眼轴日节律幅度、眼轴年变化量、CVI 日最大值时间(峰时),日最小值时间(谷时)对 SE 年变化量的影响差异无统计学意义(均 $P > 0.05$),见表 2。

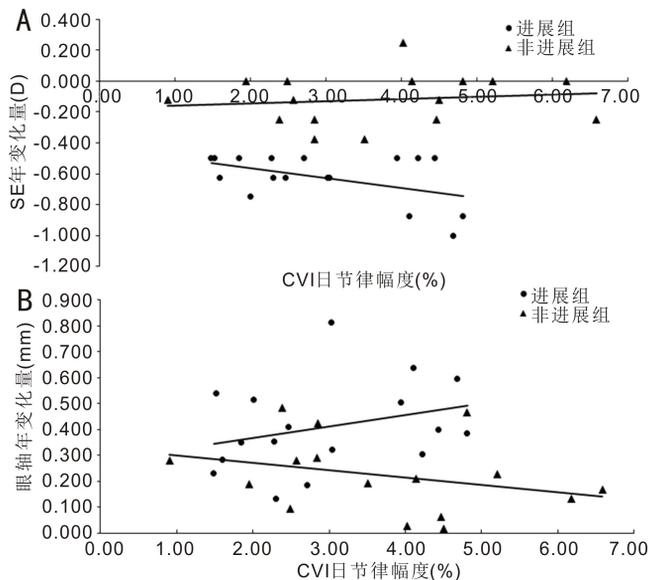


图3 两组 SE 及眼轴年变化与 CVI 日节律幅度的相关性 A:非进展组与进展组 SE 年变化量与 CVI 日节律幅度的相关性;B:非进展组与进展组眼轴长度年变化量与 CVI 日节律幅度的相关性。

3 讨论

本研究基于 SS-OCT 观察了学龄儿童的 CVI 日节律变化幅度,并分析其与 SE 及眼轴年变化量的相关性。结果表明在非进展组与进展组眼轴及 CVI 均存在日节律变化趋势,其中进展组中,脉络膜中心凹 1 mm 处的 CVI 日节律变化幅度与 SE 年变化量呈负相关,而在非进展组中,该 CVI 日节律幅度与 SE 年变化量无相关性。两组 CVI 日节律幅度与眼轴年变化量之间均无相关性。

根据既往研究,脉络膜的日节律变化是眼部生理的重要特征,脉络膜量化参数存在明显的日节律变化^[14-16],正常成人脉络膜的厚度及血流参数一般于日间 12:00 附近为最低值,随后逐渐增加于夜间 2:00 左右达到最高值,并且该变化与眼轴长度的日节律呈反相相关性,且与近视的发生发展密切相关,推测可能参与眼球生长的调节过程^[11,14],

表2 进展组中 SE 年变化量与各参数的多元线性回归分析

(n = 17)

变量	回归系数(β)	标准误差	t	P	95%CI
截距(β_0)	0.115	0.402	0.287	0.779	-0.769, 0.999
CVI 日节律幅度	-12.665	5.392	-2.347	0.039	-24.521, 0.788
眼轴日节律幅度	4.599	6.768	0.680	0.511	-10.297, 19.296
眼轴年变化量	0.093	0.380	0.245	0.811	-0.742, 0.928
谷时	0.055	0.036	-1.527	0.155	-0.134, 0.024
峰时	-0.018	0.023	-0.793	0.444	-0.070, 0.033

动物实验研究亦表明,近视眼的眼球结构昼夜节律发生了改变^[10],脉络膜的节律变化与异常眼球生长和近视的发生发展亦可能有关, CVI 与眼轴增长及近视程度相关^[3,12]。以往涉及儿童脉络膜血流参数日节律变化幅度与 SE 发展关系的探讨较缺乏,本研究与既往关于儿童脉络膜参数单点检测的横断面研究文章^[17] 相较,以 CVI 的日节律幅度为观察指标,对处于 SE 变化时期的学龄儿童的近视年进展程度进行了随访,从而发现在 SE 进展快速组,脉络膜血流的 CVI 日节律变化幅度与 SE 的进展呈显著负相关,且 CVI 日节律变化幅度为 SE 年变化量的影响因素($P=0.039$),提示在近视发展较快速时,脉络膜血流日节律的波动变化可能已经发生改变或趋于紊乱,且较眼轴变化可能为更敏感指标。

本研究中,两组参与者中眼轴的节律波动最大值时相一致,而其日变化幅度存在差异,非进展组的日变化幅度大于进展组,非进展组 CVI 的日节律最小值与眼轴的日节律最大值均在 12:00 出现,在时间点上呈现出反相的趋势,而进展组 CVI 的日节律最小值在 15:00 出现,较非进展组迟, CVI 的日节律幅度小于非进展组,这一结果与 Chakraborty 等^[18]通过远视离焦诱导成人短暂性近视的研究结果相一致,而 CVI 的日节律波动状态在两组参与者中略有不同,非进展组在 12:00 时测量值最低,进展组中最低值出现在 15:00,而 CVI 日节律幅度非进展组大于进展组,这之前针对成人的研究脉络膜厚度日节律与 SE 不存在相关性的结论是不一致的^[9]。根据近期的研究提示脉络膜中生物节律基因的表达与视觉输入质量相关,支持屈光状态发育过程与脉络膜的节律变化存在一定相关^[19],因此本研究中 CVI 的日节律波动与 SE 进展的相关性为脉络膜血流状态在 SE 状态变化过程中节律发生了变化提供了一定依据。

本研究未发现 CVI 日节律变化幅度与眼轴年变化量之间存在显著相关性,这与之前基于动物实验的研究结果不一致。此前的动物研究表明,近视眼轴的增长被认为是导致脉络膜日节律变化的主要原因,然而本研究的对象是处于生长发育期的儿童,虽然进行了 1 a 的眼轴变化观察,但儿童眼轴的部分增长还可能与正常生长发育相关,而不是仅由近视发展驱动。此外,受限于相对较短的观察期,1 a 内眼轴增长的幅度相对有限,与动物实验中明显的眼轴诱导变化程度相比,可能不足以显现出与脉络膜日节律的显著相关性^[8]。

本研究存在不足之处:(1)样本量较小,限制了对脉

络膜日节律与眼轴年变化量相关性的分析力度。未来若能增加样本量,将有助于进一步明确两者之间的关系。(2)本研究仅关注了日间脉络膜和眼轴的节律变化,未涉及夜间数据。由于 24 h 监测参与者的难度限制,本研究仅限于观察白昼节律。然而,眼轴最短和脉络膜最大的节律极值可能出现在夜间,如果能够将夜间数据纳入研究,可能对脉络膜节律变化与近视发展之间的关联提供更为完整的解释,但是本研究的日间节律可以探测到眼轴较长和 CVI 的较低值,日节律影响因素比如光照量等也主要是在日间的差异。未来研究可以增加晚间的监测点,以使得节律的数据更加完整。(3)本研究仅分析了脉络膜中心凹处 1 mm 的 CVI,而根据近视离焦的原理,近视的发生发展可能对脉络膜的中周边范围也有变化,因此未来的研究可以扩大脉络膜的量化分析范围,为脉络膜周边结构的节律变化与屈光状态改变的相关性提供更全面的依据。最后,本研究的随访时间为 1 a,可能不足以揭示 SE 和眼轴的长期变化趋势。延长随访期至 2 a 或以上,或许能够更全面地反映 SE 和眼轴变化的相关性。因此,本研究对于 CVI 日节律变化与 SE 的进展相关性仍处于探索阶段,未来研究应考虑扩大样本量、延长随访时间,加入夜间数据,以提供更深入的分析和解释。

本研究通过扫频光学相干断层扫描技术,首次观察了学龄儿童 CVI 的日节律变化与 SE 进展的相关性。结果表明,SE 进展较快的儿童,其脉络膜血流日节律变化幅度与 SE 进展呈现显著相关性。这一发现提示脉络膜血流日节律波动可能在近视的发生发展过程中发生了变化,为进一步理解近视发生发展的脉络膜相关的变化机制提供一定的依据,也希望为后续近视防控干预研究提供新的思路 and 参考。

利益冲突声明: 本文不存在利益冲突。

作者贡献声明: 杨叶论文选题与修改,初稿撰写;林志阳、周子微文献检索,数据采集及分析;沈梅晓选题指导,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] Ostrin LA, Harb E, Nickla DL, et al. IMI—the dynamic choroid: new insights, challenges, and potential significance for human myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2023,64(6):4.
- [2] Duan F, Chen ZY, Wang ZY, et al. Longitudinal choroidal thickness changes among Chinese young adults with various refractive errors. *Front Med (Lausanne)*, 2023,10:1036087.
- [3] Wang YY, Liu MQ, Xie Z, et al. Choroidal circulation in 8- to 30-year-old Chinese, measured by SS-OCT/OCTA: relations to age, axial

length, and choroidal thickness. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2023, 64(7):7.

[4] Ulaganathan S, Read SA, Collins MJ, et al. Influence of seasons upon personal light exposure and longitudinal axial length changes in young adults. *Acta Ophthalmol*, 2019, 97(2):e256-e265.

[5] 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.

[6] Zhou XT, Ye C, Wang XY, et al. Choroidal blood perfusion as a potential "rapid predictive index" for myopia development and progression. *Eye Vis (Lond)*, 2021, 8(1):1.

[7] Nickla DL, Wildsoet CF, Troilo D. Diurnal rhythms in intraocular pressure, axial length, and choroidal thickness in a primate model of eye growth, the common marmoset. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2002, 43(8):2519-2528.

[8] Nickla DL, Wildsoet C, Wallman J. Visual influences on diurnal rhythms in ocular length and choroidal thickness in chick eyes. *Exp Eye Res*, 1998, 66(2):163-181.

[9] Burfield HJ, Carkeet A, Ostrin LA. Ocular and systemic diurnal rhythms in emmetropic and myopic adults. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2019, 60(6):2237-2247.

[10] Chakraborty R, Ostrin LA, Nickla DL, et al. Circadian rhythms, refractive development, and myopia. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2018, 38(3):217-245.

[11] Ulaganathan S, Read SA, Collins MJ, et al. Daily axial length and choroidal thickness variations in young adults: Associations with light exposure and longitudinal axial length and choroid changes. *Exp Eye*

Res, 2019, 189:107850.

[12] 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.

[13] Zheng G, Jiang YF, Shi C, et al. Deep learning algorithms to segment and quantify the choroidal thickness and vasculature in swept-source optical coherence tomography images. *J Innov Opt Health Sci*, 2021, 14(1):2140002.

[14] Ostrin LA, Jnawali A, Carkeet A, et al. Twenty-four hour ocular and systemic diurnal rhythms in children. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2019, 39(5):358-369.

[15] Burfield HJ, Patel NB, Ostrin LA. Ocular biometric diurnal rhythms in emmetropic and myopic adults. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2018, 59(12):5176-5187.

[16] He GQ, Zhang XZ, Zhuang XN, et al. Diurnal variation in choroidal parameters among healthy subjects using wide-field swept-source optical coherence tomography angiography. *Transl Vis Sci Technol*, 2024, 13(5):16.

[17] 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.

[18] Chakraborty R, Read SA, Collins MJ. Hyperopic defocus and diurnal changes in human choroid and axial length. *Optom Vis Sci*, 2013, 90(11):1187-1198.

[19] Stone RA, Wei W, Sarfare S, et al. Visual image quality impacts circadian rhythm-related gene expression in retina and in choroid: a potential mechanism for ametropias. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020, 61(5):13.