

本文引文格式:邱之阳,李华,廖娟,等.紫光对近视成人近距离用眼后脉络膜厚度和血流的短期影响[J].右江民族医学院学报,2026,48(3):341-348,362.

【论著与临床报道】

紫光对近视成人近距离用眼后脉络膜厚度和血流的短期影响

邱之阳,李华,廖娟,朱荟蓉,吴珂,董姝汐

(重庆医科大学附属永川医院眼科 重庆 402160)

摘要:**目的** 探讨紫光对近视成人脉络膜短期干预后脉络膜厚度(ChT)及脉络膜血流(ChBF)变化情况。**方法** 采用观察性交叉研究,纳入 18~30 岁近视成人 16 例(32 眼),所有研究参与者在白光和紫光下阅读,根据随机数字表法决定研究参与者不同光环境下阅读的顺序,分别在白光或紫光下阅读纸质书籍 30 min,保持 33 cm 的固定阅读距离,间隔 24 h 以上再采用另一种光环境下阅读。为避免昼夜节律对脉络膜的影响,试验均在 14:00~18:00 之间进行。试验前后分别测量中央、上、下、鼻、颞侧各个区域的 ChT、脉络膜血管容积(CVV)、非侵入性首次泪膜破裂时间(NITBUTf)和非侵入性平均泪膜破裂时间(NITBUTav)。**结果** 研究参与者年龄为 (23.19 ± 3.34) 岁,等效球镜屈光度为 (-3.00 ± 1.70) D,眼轴长度为 (24.92 ± 1.03) mm。白光阅读后各个区域的 ChT 和 CVV 显著降低($P < 0.05$, $P < 0.01$, $P < 0.001$),紫光阅读后各区域的 ChT 显著增加($P < 0.05$, $P < 0.01$, I3-6 和 N3-6 除外),紫光阅读后各区域的 CVV 增加($P < 0.05$, S1-6 和 N3-6 除外),各区域白光阅读前后 ChT 差值显著高于紫光前后($P < 0.05$, $P < 0.01$, I3-6 除外),各区域白光阅读前后 CVV 差值显著高于紫光前后($P < 0.05$, $P < 0.01$, I3-6 和 T3-6 除外)。白光阅读后 NITBUTav 和 NITBUTf 显著降低($P < 0.01$),紫光阅读后 NITBUTav 和 NITBUTf 变化差异无统计学意义($P > 0.05$),白光阅读前后 NITBUTav 差值显著高于紫光阅读前后 NITBUTav 差值($P = 0.019$)。**结论** 与传统的白光下阅读相比,在波长范围 360~400 nm、辐照度 $305 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 的紫光台灯下阅读,短期内 ChT 增加,ChBF 增强,将紫光引入室内光环境中可能成为近视防控新手段。

关键词:紫光;近视;脉络膜厚度;脉络膜血流

中图分类号:R778.11

文献标识码:A

文章编号:1001-5817(2026)03-0341-09

doi:10.3969/j.issn.1001-5817.2026.03.003

Short-term effects of violet light on choroidal thickness and blood flow in myopic adults after near work

QIU Zhiyang, LI Hua, LIAO Juan, ZHU Huirong, WU Ke, DONG Yaoxi

(Department of Ophthalmology, the Affiliated Yongchuan Hospital of
Chongqing Medical University, Chongqing 402160, China)

Abstract: **Objective** To investigate the short-term changes in choroidal thickness (ChT) and choroidal blood flow (ChBF) in myopic adults after near work with violet light intervention. **Methods** An observational crossover study was performed. Sixteen myopic adults aged 18~30 years (32 eyes) were enrolled. All subjects completed reading tasks under white light and violet light in random sequence generated by a random number table. Subjects read printed books for 30 minutes at a fixed reading distance of 33 cm under either white light or violet light, with an interval of at least 24 hours between the two lighting conditions. All experiments were conducted between 14:00 and 18:00 to eliminate the interference of circadian rhythm on the choroid. ChT and choroidal vascular volume (CVV) of central, superior, inferior, nasal and temporal regions, as

基金项目:重庆市公共卫生重点专科(学科)建设项目(渝卫办发〔2023〕81 号);重庆市科卫联合医学科研项目重点项目(2023ZDXM015)

第一作者:邱之阳,在读硕士研究生,研究方向:近视,E-mail:1047319067@qq.com

通讯作者:李华,教授,主任医师,研究方向:近视,E-mail:lihua80@yeah.net

well as first non-invasive tear break-up time (NITBUTf) and average non-invasive tear break-up time (NITBUTav), were measured before and after the test. **Results** The mean age of participants was (23.19 ± 3.34) years, mean spherical equivalent refraction was (-3.00 ± 1.70) diopters (D), and mean axial length was (24.92 ± 1.03) mm. After reading under white light, ChT and CVV decreased significantly across all regions ($P < 0.05$, $P < 0.01$, $P < 0.001$). After reading under violet light, ChT in all regions increased significantly ($P < 0.05$, $P < 0.01$), except I3-6 and N3-6. CVV in all regions increased after violet light reading ($P < 0.05$), except S1-6 and N3-6. The ChT differences between pre-and post-reading under white light were significantly higher than those under violet light in all regions ($P < 0.05$, $P < 0.01$), except I3-6. The CVV differences between pre- and post-reading under white light were significantly higher than those under violet light in all regions ($P < 0.05$, $P < 0.01$), except I3-6 and T3-6. NITBUTav and NITBUTf decreased significantly after white light reading ($P < 0.01$), whereas no statistically significant alterations in NITBUTav or NITBUTf were detected after violet light reading ($P > 0.05$). The difference in NITBUTav before and after reading was significantly greater under white light than under violet light ($P = 0.019$). **Conclusion** Compared with reading under conventional white light, short-term reading under a violet table lamp with a wavelength range of 360 ~ 400 nm and irradiance of $305 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ can increase ChT and improve ChBF. Introducing violet light into indoor lighting environments may become a new method for myopia prevention and control.

Key words: violet light; myopia; choroidal thickness; choroidal blood flow

近视是全球儿童和青少年中最常见的眼部疾病之一,也是一个重大的公共卫生问题。大量研究表明户外活动可以预防近视的发生^[1],这可能与太阳光的光谱分布更充分有关。最新研究表明紫光 360~400 nm 对于近视具有一定控制作用^[2],佩戴紫光透射眼镜儿童眼轴增长得到一定的控制。目前可用的普通家用照明光源以及室内紫光光谱成分十分有限^[3]。脉络膜受到光学或环境刺激的调节,近年来研究表明脉络膜厚度(choroidal thickness,ChT)变化与近视发生发展密切相关^[4],ChT 改变的主要原因可能是脉络膜血流(choroidal blood flow,ChBF)的改变,ChBF 减少可导致巩膜相对缺氧的环境,引起巩膜的一系列变化,促进近视和眼轴增长的发生和发展^[5-6]。因此,深入探讨紫光对 ChT 及血流变化,对寻找新的近视防控方法具有十分重要的意义。

1 对象与方法

1.1 试验场景 白光场景:采用普通白炽灯,光照强度设定为 400 lux(辐照度 $58.4 \mu\text{W}/\text{cm}^2$),依据北美照明工程学会(Illuminating Engineering Society of North America,IESNA)的《照明手册》推荐:适宜阅读的白光光照强度通常在 300~500 勒克斯(lux)之间。这一范围内的光照强度能够提供足够的亮度以确保阅读的清晰度,同时不会过于刺眼,从而减少眼睛的疲劳。紫光场景:采用含有紫光光谱的台灯(深圳市松鼠有品智能科技有限公司/南通诺瞳奕目医疗科技有限公司,松鼠有品,型号:E10)照明,白光光照强度仍旧设定为 400 lux(辐照度 $58.4 \mu\text{W}/\text{cm}^2$),紫光波长范围 360~400 nm,辐照度设定在 $305 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。

1.2 研究对象 本研究于 2024 年 10 月至 2025 年 3

月期间共招募了 16 名 18~30 岁的健康成人研究参与者,所有参与者均来自重庆市第二人民医院。女性 13 名,男性 3 名,年龄 18~30 岁,平均 (23.19 ± 3.34) 岁,平均等效球镜度为 (-3.00 ± 1.70) D。纳入标准:年龄 ≥ 18 岁且 ≤ 30 岁;双眼等效球镜度数在 -6.00 D~ -0.50 D,佩戴框架眼镜,双眼最佳矫正视力为 ≥ 1.0 ;双眼散光绝对值 ≤ 1.50 D;双眼屈光参差 ≤ 1.0 D;眼压 < 21 mmHg。排除标准:调节功能异常;眼部器质性病变;眼位及眼球运动异常;有全身系统性疾病病史;不能完成全部检查者;依从性差者;正在参加其他临床试验者。本研究中涉及研究参与者的所有程序均经重庆医科大学附属永川医院伦理委员会批准(2024EC0061)。所有研究参与者在入组前签署知情同意书,研究遵循《赫尔辛基宣言》。

1.3 研究过程 试验前,所有参与者需闭目静息 15 min,以消除潜在干扰并建立稳定的基线状态。为避免昼夜影响,控制环境光变化,试验环境都在同一暗室中进行。整个试验均采用同一厂家、同一批次生产的台灯及纸质印刷品。使用 SPSS 软件进行随机化,根据随机数字表法决定研究参与者不同光环境下阅读的顺序(生成数字 1,先在白光场景下阅读,数字 2 则先在紫光场景下进行阅读),分别在白光或紫光下阅读纸质书籍 30 min,固定保持 33 cm 的阅读距离,间隔 24 h 以上再采用另一种光环境下阅读。为避免昼夜节律对脉络膜的影响,试验均在 14:00~18:00 之间进行。试验前,研究参与者应保证充足休息,并于测试前 24 h 内避免摄入咖啡因及含糖饮料,同时禁止进行高强度体育活动。基线资料收集内容包括:人口学信息(年龄、性别),视力参数(裸眼视力、最佳矫正视力),眼科

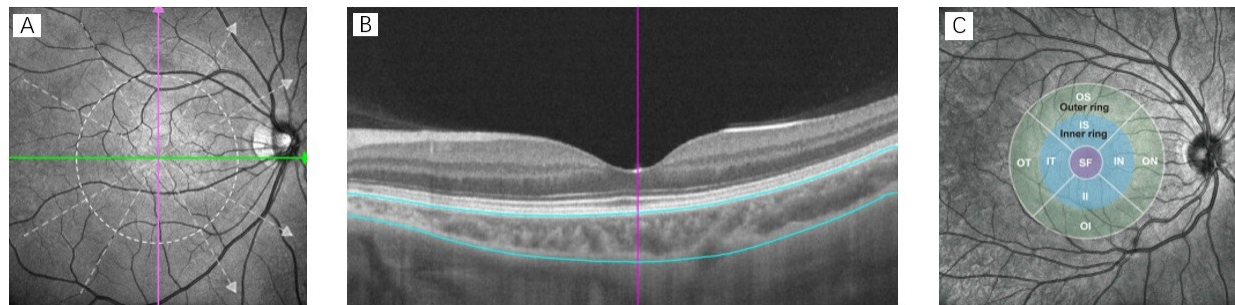
临床评估(裂隙灯检查、眼底检查、非接触式眼压测量),以及屈光状态(等效球镜度数)与眼轴长度。试验前后测量眼部相关参数,包括 ChT、ChBF 以及安全性评估(非侵入性首次泪膜破裂时间和非侵入性平均泪膜破裂时间)。

1.4 检查方法

1.4.1 眼轴长度测量 采用 IOL Master 700(Carl Zeiss Meditec,德国)测量眼轴长度,每只眼进行 5 次有效测量,确保误差范围不超过 ± 0.02 mm。

1.4.2 SS-OCT/OCTA 图像采集和处理 SS-OCT/OCTA 图像采集和处理:使用扫频源光学相干断层扫描(SS-OCTA)设备(VG200D;SVisionImaging,河南,中国)进行黄斑区的视网膜脉络膜成像^[7]。该系统利用中心波长约为 1 050 nm 的超辐射发光二极管(SS)激光器,实现每秒 200 000 次 A 扫描的扫描速率。关键成像参数包括 5 μ m 的轴向分辨率、13 μ m 的横向分辨率和 3 mm 的扫描深度。在 Angio 6 $\times$ 6 关键模式下进行 SS-OCTA 扫描(见图 1A)。在这些图像中,脉络膜被定义为从视网膜色素上皮(RPE)一布鲁赫膜复合体到脉络膜一巩膜界面的区域,ChT 被测量为这两个结构之间的垂直距离(见图 1B)。脉络膜血管体

积(choroidal vessel volume,CVV)被定义为脉络膜区域内的脉络膜脉管系统的总体积,反映脉络膜内血管内容物的绝对量。使用集成到 SS-OCTA 中的软件(版本 v3.0.116)自动计算 ChT 和 CVV。使用该设备的专有算法进行自动分割,并由合格的检查者手动审查并纠正任何分割错误。首先对右眼成像,然后对左眼成像,对每只眼睛进行 4 次连续测量并取平均值。SS-OCT/OCTA 图像处理:为了进行图像分析,根据早期治疗糖尿病视网膜病变研究(ETDRS)网格将黄斑区分为 3 个同心环:直径为 1 mm 的中心环(C)、直径为 3 mm 的内环(I)和直径为 6 mm 的外环(O)。每个环进一步细分为 4 个区域:上(S)、颞(T)、下(I)和鼻(N),其中,中心凹下脉络膜厚度(subfoveal choroidal thickness,SFChT)以黄斑中心凹为中心直径 1mm 区域的脉络膜厚度;S1-3、I1-3、N1-3、T1-3 分别代表内环(直径为 1 mm 至直径为 3 mm 之间)对应 4 个区域的脉络膜厚度,S3-6、I3-6、N3-6、T3-6 分别代表外环(直径为 3 mm 至直径为 6 mm 之间)对应 4 个区域的脉络膜厚度(具体区域位置见图 1C)。使用机器的集成软件,自动计算每个区域的 ChT 和 CVV 值。



注:A 为在 Angio 6 mm $\times$ 6 mm 模式下进行 SS-OCT 扫描(512 B $\times$ 512 B 扫描);
B 为 ChT 测量为这两个结构之间的垂直距离;C 为图像显示出了用于分析的黄斑区域的分割。

图 1 眼部参数测量

1.4.3 BUT 评分 采用 Oculus 眼表综合分析仪^[8]分别测量研究参与者每只眼睛的非侵入性首次泪膜破裂时间(non-invasive first tear break-up time,NIT-BUTf)、非侵入性平均泪膜破裂时间(non-invasive average tear break-up time,NITBUTav)。

1.4.4 屈光度 采用电脑自动验光仪(RM-8900,日本 Topcon)测量屈光度,每只眼睛自动测量 3 次后取平均值后计算得出等效球镜度数(spherical equivalent,SE)。

1.5 统计学方法 本研究为单组自身前后对照的观察性探索性研究。样本量采用配对设计中基于效应量(Cohen's d)的计算公式: $n = (\frac{Z_{1-\alpha/2} + Z_{1-\beta}}{d})^2$,其中,

α 为显著性水平, $1-\beta$ 为检验效能, d 为预期干预效应量。参考既往相关研究^[9],并结合本研究为探索性试验的特点,假设干预具有中等效应量($d=0.6$),取 $\alpha=0.05$ (双侧), $1-\beta=0.80$,代入公式计算得到所需样本量约为 22 例。本研究依据配对设计的效应量估算,所需样本量约为 22 只眼,为抵消可能的脱落和个体变异,实际纳入 16 名(32 眼),数量满足并超过预设样本量要求。同时,本研究主要结局指标均显示出高度显著的统计学差异($P<0.01$),效应量明确、结果稳定。使用 IBM SPSS Predictive Analytics 软件(SPSS for Windows,版本 26.0;IBM-SPSS,芝加哥,IL,美国)分析数据。对白光和紫光场景下阅读前后的 ChT、

CVV、NITBUTf、NITBUTav 等非正态分布的连续性变量,采用中位数和四分位间距表示,白光和紫光组内阅读前后比较采用两组相关样本 Wilcoxon Signed Ranks 检验,组间差值比较采用两组独立样本 Mann-Whitney *U* 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

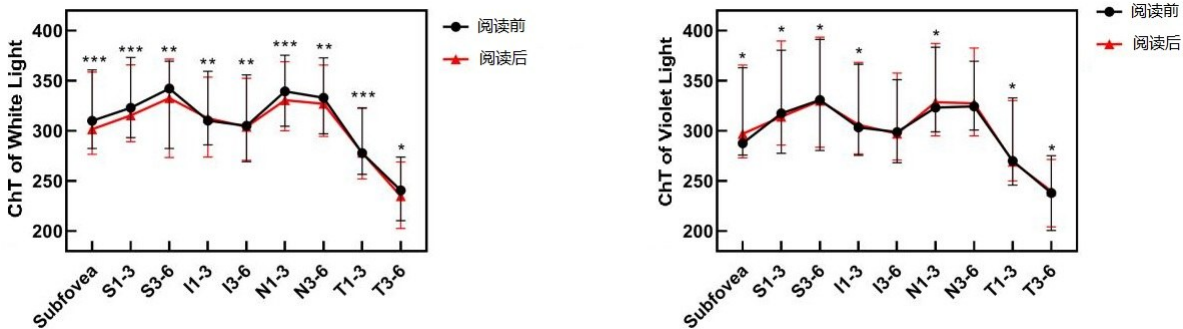
2 研究结果

2.1 一般资料 本研究总共纳入近视患者 16 例(32 只眼)。研究参与者年龄为(23.19±3.34)岁,等效球

镜屈光度为(−3.00±1.70) D,眼轴长度为(24.92±1.03) mm。
2.2 白光与紫光阅读前后 ChT 差异 白光阅读后 ChT 在各个区域显著减少($P < 0.05$, $P < 0.01$, $P < 0.001$),见表 1、图 2。紫光阅读后 ChT 在各个区域(I3-6、N3-6 除外)显著增加($P < 0.05$, $P < 0.01$),见表 2。白光阅读前后差值显著高于紫光阅读前后差值($P < 0.05$, $P < 0.01$, I3-6 除外),见表 3。

表 1 在白光场景下阅读前后 ChT 的变化 ($n = 32$) 单位:μm

区域	阅读前	阅读后	白光前后差值	<i>Z</i>	<i>P</i>
SFChT	310.100(282.440,360.850)	301.630(276.740,358.740)	5.447(1.603,8.620)	3.927	<0.001
垂直方向					
S1-3	323.010(293.220,373.360)	315.580(289.270,365.840)	4.207(0.789,8.041)	3.684	<0.001
S3-6	342.350(282.480,369.520)	332.720(273.590,371.690)	3.638(−1.966,9.556)	2.824	0.005
I1-3	310.300(286.070,359.490)	312.680(273.800,353.650)	3.658(−0.103,9.534)	3.347	0.001
I3-6	305.010(269.360,355.950)	304.060(270.610,352.430)	2.308(0.209,5.302)	2.693	0.007
水平方向					
N1-3	277.880(256.790,323.000)	278.280(252.140,322.540)	3.609(0.763,6.888)	3.815	<0.001
N3-6	240.630(210.550,273.920)	234.970(202.670,269.040)	3.104(0.655,5.667)	3.403	0.001
T1-3	339.430(304.730,375.580)	330.750(300.010,369.170)	4.645(0.239,10.182)	3.328	<0.001
T3-6	333.160(297.080,372.970)	327.100(294.560,365.780)	2.864(−1.145,7.695)	2.319	0.020



注:阅读前后比较: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$ 。
图 2 白光场景下阅读前后与紫光场景下阅读前后各区域 ChT 变化比较

表 2 在紫光场景下阅读前后 ChT 的变化 ($n = 32$) 单位:μm

区域	阅读前	阅读后	紫光前后差值	<i>Z</i>	<i>P</i>
SFChT	287.620(275.900,363.160)	297.020(273.050,365.760)	−3.910(−11.102,7.656)	2.412	0.016
垂直方向					
S1-3	317.540(277.640,380.530)	314.180(285.850,389.630)	−3.902(−11.515,9.147)	2.206	0.027
S3-6	330.940(280.440,391.400)	330.150(283.640,393.570)	−1.896(−18.177,5.124)	2.450	0.014
I1-3	303.410(275.780,366.520)	306.070(277.030,368.280)	−1.343(−12.347,8.465)	2.300	0.021
I3-6	298.990(268.330,351.090)	297.400(271.120,357.660)	1.774(−6.543,9.672)	1.814	0.070
水平方向					
N1-3	270.150(245.800,332.830)	269.350(250.050,330.320)	−2.910(−10.773,7.013)	2.057	0.040
N3-6	238.150(200.710,275.380)	239.950(204.240,271.450)	−0.807(−9.975,6.021)	1.234	0.217
T1-3	323.290(299.140,383.410)	328.600(295.110,387.360)	−3.107(−14.283,10.393)	2.524	0.012
T3-6	324.580(300.980,369.590)	327.490(295.090,382.750)	−2.019(−15.817,9.785)	2.038	0.042

表 3 紫光场景下阅读前后和白光场景下阅读前后 ChT 平均差异的比较 (n=32)

单位:μm

区域	白光前后差值	紫光前后差值	白光紫光差值	Z	P
SFChT	5.447(1.603,8.620)	-3.910(-11.102,7.656)	9.186(-2.567,21.063)	2.618	0.009
垂直方向					
S1-3	4.207(0.789,8.041)	-3.902(-11.515,9.147)	10.950(-3.614,21.092)	2.842	0.004
S3-6	3.638(-1.966,9.556)	-1.896(-18.177,5.124)	8.138(-4.857,19.929)	2.861	0.004
I1-3	3.658(-0.103,9.534)	-1.343(-12.347,8.465)	3.367(-5.825,22.510)	2.001	0.045
I3-6	2.308(0.209,5.302)	1.774(-6.543,9.672)	0.754(-11.025,16.110)	0.823	0.411
水平方向					
N1-3	3.609(0.763,6.888)	-2.910(-10.773,7.013)	7.191(-4.38,18.382)	2.543	0.011
N3-6	3.104(0.655,5.667)	-0.807(-9.975,6.021)	3.190(-3.945,15.576)	1.982	0.047
T1-3	4.645(0.239,10.182)	-3.107(-14.283,10.393)	6.669(-3.338,26.754)	2.506	0.012
T3-6	2.864(-1.145,7.695)	-2.019(-15.817,9.785)	6.178(-7.877,23.904)	1.982	0.047

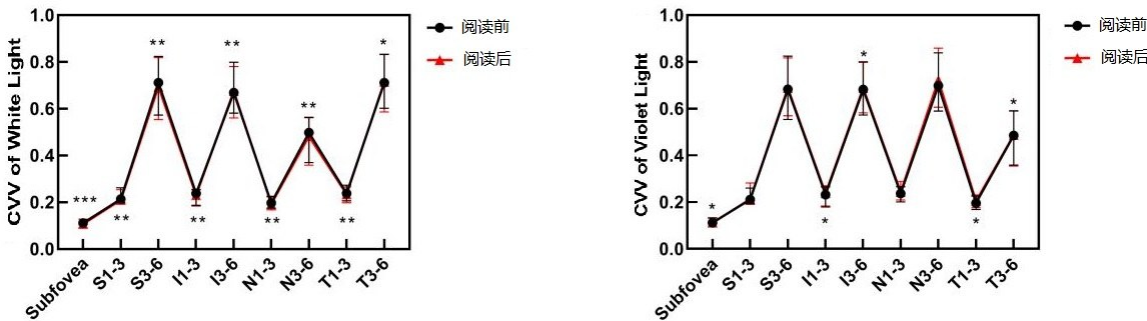
2.3 白光与紫光阅读前后 CVV 差异 白光阅读后 CVV 在各个区域显著减少 ($P<0.05$, $P<0.01$, $P<0.001$),见表 4、图 3。紫光阅读后 CVV 在各个区域显著增加 ($P<0.05$,S1-6、N3-6 除外),见表 5。白光阅读前后 CVV 差值变化大于紫光阅读前后 ($P<0.05$, $P<0.01$,I3-6、T3-6 除外),见表 6。

2.4 白光与紫光阅读前后 NITBUTav 和 NITBUTf 差异 白光阅读后 NITBUTav 和 NITBUTf 显著降低 ($P<0.01$),紫光阅读前后 NITBUTav 和 NITBUTf 差异无统计学意义 ($P>0.05$),见表 7、图 4。白光阅读前后 NITBUTav 差值显著高于比紫光阅读前后差值 ($P=0.019$),NITBUTf 差异无统计学意义 ($P=0.197$)。

表 4 在白光场景下阅读前后 CVV 的变化 (n=32)

单位:μm

区域	阅读前	阅读后	白光前后差值	Z	P
SFChT	0.111(0.096,0.128)	0.107(0.091,0.128)	0.003(0.001,0.004)	3.946	<0.001
垂直方向					
S1-3	0.238(0.206,0.273)	0.210(0.193,0.254)	0.005(0.000,0.009)	3.385	0.001
S3-6	0.711(0.573,0.824)	0.694(0.554,0.819)	0.014(0.001,0.035)	3.272	0.001
I1-3	0.238(0.187,0.254)	0.230(0.184,0.255)	0.003(0.000,0.009)	3.123	0.002
I3-6	0.669(0.581,0.799)	0.675(0.560,0.780)	0.007(-0.004,0.030)	2.599	0.009
水平方向					
N1-3	0.197(0.175,0.225)	0.192(0.168,0.223)	0.005(-0.002,0.007)	2.992	0.003
N3-6	0.498(0.370,0.562)	0.482(0.359,0.564)	0.011(-0.001,0.027)	2.917	0.004
T1-3	0.238(0.206,0.273)	0.234(0.198,0.265)	0.005(0.001,0.009)	3.011	0.003
T3-6	0.711(0.602,0.832)	0.715(0.586,0.833)	0.010(-0.005,0.024)	2.188	0.029



注:阅读前后* $P<0.05$,** $P<0.01$,*** $P<0.001$ 。

图 3 白光场景下阅读前后与紫光场景下阅读前后各区域 CVV 变化比较

表 5 在紫光场景下阅读前后 CVV 的变化 (n=32) 单位:μm

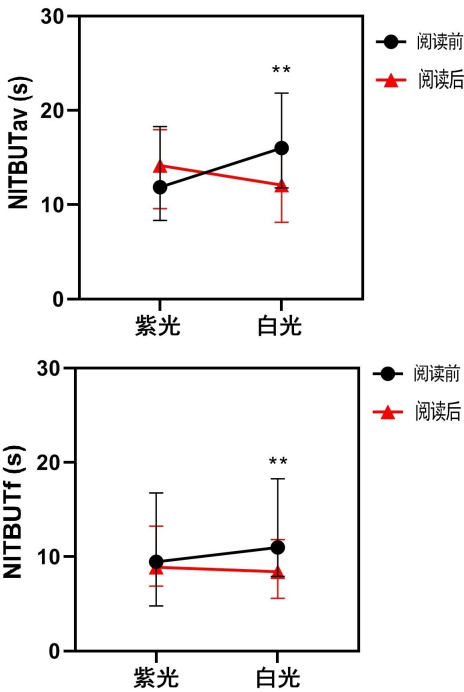
区域	阅读前	阅读后	紫光前后差值	Z	P
SFChT	0.112(0.093,0.132)	0.112(0.095,0.134)	−0.001(−0.006,0.003)	2.178	0.029
垂直方向					
S1-3	0.211(0.194,0.260)	0.213(0.190,0.282)	−0.003(−0.011,0.005)	1.842	0.065
S3-6	0.683(0.554,0.825)	0.688(0.570,0.817)	−0.007(−0.035,0.012)	1.365	0.172
I1-3	0.232(0.180,0.265)	0.238(0.184,0.270)	−0.001(−0.011,0.008)	2.188	0.029
I3-6	0.682(0.573,0.799)	0.688(0.582,0.801)	−0.001(−0.035,0.035)	2.450	0.014
水平方向					
N1-3	0.196(0.169,0.226)	0.205(0.177,0.231)	−0.003(−0.011,0.005)	1.992	0.046
N3-6	0.485(0.359,0.591)	0.487(0.355,0.590)	−0.004(−0.033,0.014)	0.215	0.830
T1-3	0.237(0.201,0.266)	0.243(0.210,0.289)	−0.003(−0.013,0.007)	2.431	0.015
T3-6	0.698(0.590,0.839)	0.722(0.606,0.859)	−0.005(−0.030,0.028)	2.038	0.042

表 6 紫光场景下阅读前后和白光场景下阅读前后 CVV 平均差异的比较 (n=32) 单位:μm

区域	白光前后差值	紫光前后差值	白光紫光差值	Z	P
SFChT	0.003(0.001,0.004)	−0.001(−0.006,0.003)	0.004(0.001,0.011)	3.011	0.003
垂直方向					
S1-3	0.005(0.000,0.009)	−0.003(−0.011,0.005)	0.008(−0.002,0.021)	2.749	0.006
S3-6	0.014(0.001,0.035)	−0.007(−0.035,0.012)	0.025(−0.010,0.067)	3.011	0.003
I1-3	0.003(0.000,0.009)	−0.001(−0.011,0.008)	0.008(−0.004,0.020)	2.394	0.017
I3-6	0.007(−0.004,0.030)	−0.001(−0.035,0.035)	0.011(−0.028,0.065)	1.533	0.125
水平方向					
N1-3	0.005(−0.002,0.007)	−0.003(−0.011,0.005)	0.008(−0.004,0.019)	2.749	0.006
N3-6	0.011(−0.001,0.027)	−0.004(−0.033,0.014)	0.016(−0.010,0.058)	2.319	0.020
T1-3	0.005(0.001,0.009)	−0.003(−0.013,0.007)	0.007(−0.001,0.018)	2.599	0.009
T3-6	0.010(−0.005,0.024)	−0.005(−0.030,0.028)	0.017(−0.029,0.048)	1.552	0.121

表 7 在白光和紫光场景下阅读前后 NITBUTav 和 NITBUTf 的变化 (n=32) 单位:s

项目	NITBUTav	NITBUTf
白光		
阅读前	16.020(11.793,21.833)	10.995(7.903,18.255)
阅读后	12.080(8.145,15.803)	8.410(5.590,11.803)
Z	3.235	2.833
P	0.001	0.005
紫光		
阅读前	11.870(8.338,18.293)	9.465(4.780,16.773)
阅读后	14.165(9.593,17.963)	8.890(6.880,13.238)
Z	0.626	0.439
P	0.531	0.660
白光紫光比较		
白光前后差值	2.735(−0.048,9.100)	2.515(−0.910,9.748)
紫光前后差值	−0.795(−6.475,4.123)	−0.570(−3.488,5.643)
白光紫光差值	3.710(−3.023,12.205)	2.035(−3.560,9.555)
Z	2.337	1.290
P	0.019	0.197



注: ** P<0.01。

图 4 白光与紫光场景下阅读前后 NITBUTav 和 NITBUTf 变化比较

3 讨论

本研究采用波长 360~400 nm、辐照度 305 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 的紫光台灯作为刺激光源,旨在观察近视成人于该波段紫光环境中近距离用眼后,其 ChT 与 CVV 的变化情况。通过分析探讨紫光调控近距离用眼后脉络膜状态的作用,并初步评估该紫光环境的安全性。研究结果可为“是否将紫光纳入室内照明体系以辅助近视防控”提供初步的试验依据。本研究表明,与传统的白光场景下阅读相比,紫光场景下阅读后 ChT(3~6 mm 区域除外)和 CVV 在脉络膜各个区域均有不同程度的增加,而白光场景下阅读后 ChT 和 CVV 在所有区域均显著减少,这可能为紫光在近视防控中的应用提供理论依据。此外,白光场景下阅读前后非侵入性平均泪膜破裂时间与紫光场景下阅读前后非侵入性平均泪膜破裂时间差异比较,紫光场景下阅读后非侵入性平均泪膜破裂时间增加,使用秩和检验分析后,具有统计显著性。2022 年日本关于发射紫光的镜框研究具有相似的结果^[2],佩戴发射紫光镜框的近视儿童的泪膜破裂时间较对照组增加且具有统计显著性,本研究进一步验证了短期内暴露于紫光的安全性。

在现代社会,随着智能手机、计算机等电子设备的广泛使用,个体停留在室内的时间显著增加,相应户外活动时长则呈下降趋势。这一日常光照环境的结构性改变可能与当前近视患病率的上升存在关联。无论父母是否近视,每天 2 h 及以上的户外活动都能降低近视的发生率^[10]。而城市居住、长期近距离用眼工作则会加速近视的发展。户外活动对近视的保护机制复杂,不同光环境能通过激活不同的视网膜通路对屈光性眼轴增长产生不同的影响,人们通过动物和临床研究发现部分是通过光对视网膜多巴胺(Dopamine, DA)^[11]的产生和释放的刺激作用来实现的,同时与光照时间、光照强度、光谱等有关。视网膜 DA 的合成随光照时间延长而增加,并且可以通过增加光照强度来刺激 DA 的活性。

最新研究表明,紫光相较于其他波长的光具有更强的近视抑制作用。JIANG X Y 等^[12]的研究表明,常用的室内光源中不存在紫光,但紫光可直接穿透角膜到达视网膜,通过上调近视保护基因早期生长反应因子 1(early growth response factor-1, EGR-1),刺激视网膜神经节细胞上的神经视蛋白 5 抑制人类近视发生发展并减少眼轴增长。将配戴单眼负镜片和漫射器处理后的小鸡暴露在非常明亮的紫光波长 360~400 nm,照度 1 116~1 349 lux 下,发现近视度数降低^[13],WANG M 等^[14]将近视模型的小鸡暴露于紫光中,发现紫光减少了剥夺性近视并刺激了视网膜 DA 释放,而 DA 是屈光稳态的重要调节因子,能增强人的视网膜灌注和 CVV。2020 年,美国埃莫里大学研究发现,

在野生型小鼠中短波长紫光(400±20) nm 诱导了近视性离焦,而绿光(525±40) nm、白光(420~680) nm 以及在视锥细胞功能失调的小鼠中则没有类似效果,因此推测短波长(400±20) nm 的紫光可能通过视锥细胞信号通路抑制小鼠的近视进展^[15]。2021 年,在一项 6~12 岁日本儿童为期 2 年的双盲随机对照试验中,透紫光(360~400) nm 眼镜与不透紫光眼镜相比,眼轴增长率降低了 21.4%^[16]。2022 年,另一项针对 8~10 岁日本儿童为期 6 个月的双盲随机对照试验中,佩戴发射紫光(辐照度 310 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$)眼镜框架的儿童,眼轴增长率降低,ChT 增厚^[2]。

既往研究表明,脉络膜变薄、血流量减少和缺氧反应被认为是近视进展过程中巩膜重塑与眼轴长度增长的原因。在近视诱导的动物模型中显示 ChT 和血流量之间存在正相关关系,随着近视的进展,ChT 和血流量会减少,在恢复过程中会增加^[17]。越来越多的研究表明紫光参与血管舒张有关的各种生理功能^[18],昼夜节律^[19]、产热^[20]和抑制近视^[12]。紫光可能通过(neuro-opsin,一种在视网膜神经节细胞中对紫光敏感的非视觉光感受器)^[21]控制 CVV 来调节 ChT。在本研究中,与白光场景下阅读后相比,在紫光场景下阅读后半小时,脉络膜相对增厚(以 SFChT 为例,中心凹下白光场景下阅读前后 ChT 与紫光场景下阅读前后 ChT 平均差异比较,ChT 和 CVV 均增加,中心凹下白光场景下阅读前后 CVV 与紫光场景下阅读前后 CVV 平均差异比较 CVV 增加,进一步支持了紫光可能通过影响 ChT 及血流在延缓近视进展中发挥作用。并且通过对紫光场景下阅读前后的 ChT 相比较,发现紫光场景下阅读后 ChT 在各个区域(除了 I3-6 和 N3-6 区域外)均有所增加,推测原因这可能与 ChT 的自身特点相关,距黄斑中心凹 6 mm 范围内的 ChT,上方最厚,中心凹次之,然后是颞侧和下方,鼻侧最薄^[22]。因此,ChT 变化还可能受解剖结构的限制。

使用 Oculus 眼表综合分析仪测量得到的 NIT-BUTav 显示,白光场景下阅读前后 NITBUTav 与紫光场景下阅读前后 NITBUTav 比较差异有统计学意义,而白光场景下阅读前后 NITBUTav 比较差异有统计学意义,上述结果显示白光场景下阅读 30 min 可能会产生眼干的不良反应,而紫光场景下阅读 30 min 未见明显不良反应。

脉络膜作为眼内高度血管化的重要组织,其结构与功能在儿童及青春期阶段呈现显著的发育动态变化。既往研究表明^[23],ChT 在儿童早期呈渐进性增厚趋势,于青年期达到生理峰值后,随年龄增长逐渐变薄^[24];同时,儿童与成人的脉络膜血管指数均随年龄增加逐渐下降^[25]。近期一项临床研究显示,短期近距离工作后,近视儿童与成人的脉络膜反应在时间进程

及变化幅度上均存在明显异质性^[26]。结合低强度红光干预的临床研究结果进行分析^[27-28],儿童眼球尚处于生理性伸长的发育关键期,ChT 及血流动力学指标的变化易被眼球生长进程所掩盖,主要表现为指标增长速率延缓;而成人眼球发育已趋于稳定,无生理性生长的干扰因素,脉络膜结构与功能的特异性变化可被更精准、直接地检测与量化。

因此,本研究推测成人脉络膜对紫光刺激的反应模式可能与儿童不同。出于临床研究伦理规范的考量,以及成人近视状态及眼球结构相对稳定,为了能更有效排除生长因素干扰,本研究选择近视成人作为初探对象,旨在验证紫光在人体眼部产生特定生物效应的“原理可行性”。而近视防控的核心人群是儿童及青少年,本研究得出的试验结论不可直接外推至儿童及青少年群体,但可为后续在儿童群体中开展紫光干预的安全性评价及有效性研究提供重要的安全性数据和初步生理学依据。并且本研究观察到紫光可引起短期、可逆的脉络膜增厚与血流增加,这种生理变化与已知的近视抑制性变化方向一致,提示其可能具有延缓近视进展的潜力。但长期、规律的紫光暴露是否真能转化为持续的近视控制效果(如降低眼轴增长速率),仍需前瞻性、长期的随机对照试验来证实。

目前紫光在近视发生发展中的作用机制尚未被阐明,既往研究表明紫光可通过上调 EGR-1、DA 等近视保护基因^[12,14]、调控视锥细胞信号通路、改变 ChT 及血流等多种途径在近视发生发展中发挥抑制作用,短波长的紫光可能是控制近视的理想类型的光谱成分之一。在现阶段人类可用的普通家用照明光源紫光光谱成分有限,并且随着智能手机、计算机等电子产品的普及,人们更多时间待在室内,这使得紫光成为了现代生活中缺失的光谱成分之一。受到客观因素的影响,本研究存在不足和局限性:样本量较小,干预时间短。未来需要进行更大样本、更长暴露时间的随访研究,以进一步探寻紫光对近视发生发展的保护作用机制,为近视防控眼镜的制作、学校照明改造等提供理论依据。

参考文献:

- CAO K, WAN Y, YUSUFU M, et al. Significance of outdoor time for myopia prevention: a systematic review and meta-analysis based on randomized controlled trials[J]. *Ophthalmic Res*, 2020, 63(2): 97-105.
- 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]. *J Clin Med*, 2022, 11(20): 6000.
- KONDO S, JIANG X Y, TORII H, et al. Violet light is abundant outdoors but deficient indoors in modern lifestyle in Tokyo[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2025, 22(3): 444.
- LIU Y L, WANG L J, XU Y Y, et al. The influence of the choroid on the onset and development of myopia: from perspectives of choroidal thickness and blood flow[J]. *Acta Ophthalmol*, 2021, 99(7): 730-738.
- WU H, CHEN W, ZHAO F, et al. Scleral hypoxia is a target for myopia control[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2018, 115(30): E7091-E7100.
- LIU L, ZHOU W J, FAN Y J, et al. Effect of interleukin 6 on scleral fibroblast proliferation, differentiation, and apoptosis involved in myopic scleral remodeling[J]. *Ophthalmic Res*, 2022, 65(5): 529-539.
- WU H, ZHANG G Y, SHEN M X, et al. Assessment of choroidal vascularity and choriocapillaris blood perfusion in anisomyopic adults by SS-OCT/OCTA[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2021, 62(1): 8.
- 李倩, 薛劲松, 蒋沁. Oculus 眼表综合分析仪在干眼诊断中的应用[J]. *中国实用眼科杂志*, 2016, 34(9): 953-957.
- MANOHARAN M K, OSTRIN L A. Interaction between near work and narrowband light on choroidal thickness[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2026, 67(1): 27.
- WU P C, CHEN C T, LIN K K, et al. Myopia prevention and outdoor light intensity in a school-based cluster randomized trial[J]. *Ophthalmology*, 2018, 125(8): 1239-1250.
- REN X Q, ZHANG Q W, YANG J L, et al. Dopamine imaging in living cells and retina by surface-enhanced Raman scattering based on functionalized gold nanoparticles[J]. *Anal Chem*, 2021, 93(31): 10841-10849.
- JIANG X Y, PARDUE M T, MORI K, et al. Violet light suppresses lens-induced myopia via neuropsin (OPN5) in mice[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2021, 118(22): e2018840118.
- TORII H, KURIHARA T, SEKO Y, et al. Violet light exposure can be a preventive strategy against myopia progression[J]. *EBioMedicine*, 2017, 15: 210-219.
- WANG M, SCHAEFFEL F, JIANG B, et al. Effects of light of different spectral composition on refractive development and retinal dopamine in chicks[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2018, 59(11): 4413.
- STRICKLAND R, LANDIS E G, PARDUE M T. Short-wavelength (violet) light protects mice from myopia through cone signaling[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020, 61(2): 13.
- MORI K, TORII H, HARA Y, et al. Effect of violet light-transmitting eyeglasses on axial elongation in myopic children: a randomized controlled trial[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(22): 5462.
- JEONG H, KURIHARA T, JIANG X Y, et al. Suppressive effects of violet light transmission on myopia progression in a mouse model of lens-induced myopia[J]. *Exp Eye Res*, 2023, 228: 109414.

[24] ZHAO J F, HU L L, GUI W F, et al. Hepatocyte TGF- β signaling inhibiting WAT browning to promote NAFLD and obesity is associated with let-7b-5p [J]. Hepatol Commun, 2022, 6(6): 1301-1321.

[25] PARK A, NAM S. miRDM-rfGA: Genetic algorithm-based identification of a miRNA set for detecting type 2 diabetes[J]. BMC Med Genomics, 2023, 16(1): 195.

[26] DU H X, WANG Y K, ZHU Y C, et al. MiR-29b alleviates high glucose-induced inflammation and apoptosis in podocytes by down-regulating PRKAB2 [J]. Endocr Metab Immune Disord Drug Targets, 2024, 24(8): 981-990.

[27] LI X N, SHANG N Y, LIU M Y, et al. NPB-1575 attenuates neuroinflammation and resists ferroptosis in rat ischemic stroke via IRS2 signaling pathway[J]. Acta Pharmacol Sin, 2025, 46(11): 2893-2907.

[28] LI J, ZHENG R Q, SHEN Y Y, et al. Jiawei Qi Gong Wan improves liver fibrosis and inflammation in PCOS mice *via* the Akt2-FoxO1 and YAP/TAZ signaling pathways[J]. Phytomedicine, 2025, 136: 156294.

[29] FAN X H, WANG J Y, QIN T T, et al. Exosome miR-27a-3p secreted from adipocytes targets ICOS to promote antitumor immunity in lung adenocarcinoma[J]. Thorac Cancer, 2020, 11(6): 1453-1464.

[30] CHOI Y J, KIM C, CHOI E W, et al. MicroRNA-155 acts as an anti-inflammatory factor in orbital fibroblasts from Graves' orbitopathy by repressing interleukin-2-inducible T-cell kinase [J]. PLoS One, 2022, 17(8): e0270416.

收稿日期: 2026-01-22; 修回日期: 2026-03-08

(本文编辑 覃黎黎)

(上接第 348 页)

[18] DE MORAES L H O, MANCINI M W, ALMEIDA-LOPES L, et al. Violet LED induces vasodilation in rat aortic rings by soluble guanylate cyclase-dependent mechanism and increases SOD activity[J]. Lasers Med Sci, 2022, 37(1): 537-544.

[19] BUHR E D, YUE W W S, REN X Z, et al. Neuropsin (OPN5)-mediated photoentrainment of local circadian oscillators in mammalian retina and Cornea [J]. Proc Natl Acad Sci U S A, 2015, 112(42): 13093-13098.

[20] ZHANG K X, D'SOUZA S, UPTON B A, et al. Violet-light suppression of thermogenesis by opsin 5 hypothalamic neurons[J]. Nature, 2020, 585(7825): 420-425.

[21] NGUYEN M T, VEMARAJU S, NAYAK G, et al. An opsin 5-dopamine pathway mediates light-dependent vascular development in the eye[J]. Nat Cell Biol, 2019, 21(4): 420-429.

[22] GOLDENBERG D, MOISSEIEV E, GOLDSTEIN M, et al. Enhanced depth imaging optical coherence tomography: choroidal thickness and correlations with age, refractive error, and axial length[J]. Ophthalmic Surg Lasers Imaging, 2012, 43(4): 296-301.

[23] XIONG S Y, HE X G, DENG J J, et al. Choroidal thickness in 3001 Chinese children aged 6 to 19 years using swept-source OCT[J]. Sci Rep, 2017, 7: 45059.

[24] DING X Y, LI J Q, ZENG J, et al. Choroidal thickness in healthy Chinese subjects[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2011, 52(13): 9555.

[25] WANG Y Y, LIU M Q, 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[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2023, 64(7): 7.

[26] LIU M Q, WANG Y Y, LI H E, et al. Differences in choroidal responses to near work between myopic children and young adults[J]. Eye Vis, 2024, 11(1): 12.

[27] 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 [J]. Ophthalmic Physiol Opt, 2022, 42(2): 335-344.

[28] LIU G H, LI B Q, RONG H, et al. Axial length shortening and choroid thickening in myopic adults treated with repeated low-level red light[J]. J Clin Med, 2022, 11(24): 7498.

收稿日期: 2026-11-20; 修回日期: 2026-03-26

(本文编辑 覃黎黎)