

紫光影响脉络膜厚度与血流动态平衡抑制近视的机制研究及近视防控新策略

邱之旸, 李 华

重庆医科大学附属永川医院眼科, 重庆

收稿日期: 2025年3月16日; 录用日期: 2025年4月9日; 发布日期: 2025年4月17日

摘 要

近视是常见的全球公共性卫生问题, 影响了全世界近三分之一的人, 已成为全球第六大致盲原因。儿童青少年近视的发生发展是遗传和环境多因素综合作用的结果, 仅遗传因素已不能解释儿童青少年近视高发以及进展快的特点, 且遗传因素目前仍无法加以干预以延缓近视进展。户外活动的减少是目前已知最主要的环境危险因素之一, 而户外活动对近视的保护与光线水平, 光的光谱组成有关。其机制涉及强光刺激视网膜多巴胺释放及动态光谱的综合效应, 其中紫光(360~400 nm)展现出独特的抑制作用。最新研究表明, 紫光通过激活视网膜OPN5光感受器, 上调EGR-1基因表达, 刺激多巴胺释放, 不仅能抑制实验动物近视模型眼轴增长, 在临床随机对照试验中可使儿童眼轴增长率降低21.4%, 并显著增厚脉络膜。这提示紫光可能通过影响脉络膜厚度及血流动态平衡, 为开发非侵入性近视防控手段提供新方向。

关键词

脉络膜厚度, 脉络膜血流, 紫光, 眼轴, 近视防控

Research on the Mechanisms of Violet Light Influencing Choroidal Thickness and Choroidal Blood Perfusion to Inhibit Myopia and New Strategies for Myopia Prevention and Control

Zhiyang Qiu, Hua Li

Department of Ophthalmology, The Affiliated Yongchuan Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: Mar. 16th, 2025; accepted: Apr. 9th, 2025; published: Apr. 17th, 2025

文章引用: 邱之旸, 李华. 紫光影响脉络膜厚度与血流动态平衡抑制近视的机制研究及近视防控新策略[J]. 临床医学进展, 2025, 15(4): 1919-1925. DOI: 10.12677/acm.2025.1541138

Abstract

Myopia, a prevalent global public health issue, affects nearly one-third of the world's population and has become the sixth leading cause of blindness worldwide. The development of myopia in children and adolescents results from a combination of genetic and environmental factors. Genetic factors alone cannot explain the high prevalence or rapid progression of myopia in this population, and they remain non-modifiable for delaying disease progression. Reduced outdoor activity is one of the most well-documented environmental risk factors, with the protective effect of outdoor exposure linked to light intensity and spectral composition. The underlying mechanisms involve the synergistic effects of bright light-induced retinal dopamine release and dynamic light spectra. Notably, violet light (360~400 nm) exhibits unique inhibitory properties. Recent studies demonstrate that violet light activates retinal OPN5 photoreceptors, upregulates EGR-1 gene expression, and stimulates dopamine release. This pathway not only suppresses axial length growth in experimental animal models but also reduces axial length growth rate by 21.4% in clinical randomized controlled trials among children, accompanied by significant choroidal thickening. These findings suggest that violet light may influence choroidal thickness and blood perfusion balance, offering a novel direction for developing non-invasive strategies for myopia prevention and control.

Keywords

Choroidal Thickness, Choroidal Blood Perfusion, Violet Light, Axial Length, Myopia Prevention and Control

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前, 全球近视的人数正在不断增加, 预计到 2050 年全球近视人数将达 48 亿[1]。2016 年因视力障碍导致的生产力损失可能使全球经济损失 2440 亿美元[2]。近年来, 我国以近视为主的儿童青少年视力低下患病率不断攀升, 并向近视高发以及低龄化的方向发展, 患病率高居世界第一位。临床研究表明, 角膜塑形镜、多点离焦框架眼镜和硫酸阿托品滴眼液在儿童青少年近视中具有一定的近视控制效果。然而, 这些措施对于近视防控仍具有局限性, 还需要不良反应更少更有效的新型防控措施。现已有大量研究表明户外活动可以预防近视的发生, 户外活动时间越长, 近视发生率越低。这可能是由于太阳光的光谱在一天中是动态的, 波长分布更充分, 包含了紫光、蓝光、红光、紫外线、红外线等多种波长的光。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。而脉络膜在调节眼轴生长或近视发展过程中扮演着重要角色, 脉络膜厚度和脉络膜血流变化可能先于眼轴改变, 可能是观察近视发生发展的重要指标。因此, 深入探讨紫光是否影响脉络膜厚度及血流变化, 从而调节眼轴生长及近视的发生发展, 对寻找新的近视防控方法可能具有十分重要的意义。

2. 脉络膜厚度及血流动力学改变对近视进展的作用机制研究

脉络膜作为眼睛的血管层, 位于巩膜和 Bruch 膜(Bruch's membrane, BM)之间, 脉络膜厚度随着血流的充盈变化情况会有较大的差异, 脉络膜结构直接或间接地受到各种药物、光学或环境刺激的调节。Sander 等通过研究低浓度阿托品和远视离焦对年轻近视成人脉络膜厚度(Choroidal Thickness, ChT)和眼轴

长度(Axial Length, AL)的影响发现, AL 越长 ChT 越薄, 反之亦然, 认为脉络膜参与了眼球生长的调节(见表 1), 脉络膜变厚可以抑制 AL 的增长[3]。考虑到脉络膜是一种高度血管化的组织, 具有快速改变血流的能力, 有学者推测导致脉络膜厚度改变的主要原因可能是脉络膜血流(Choroidal Blood Perfusion, ChBF)的改变。近年来, 巩膜缺氧与近视相关的研究为探索脉络膜厚度及血流对近视的影响提供了新的证据。Wu 等人发现当脉络膜血流(Choroidal Blood Perfusion, ChBF)减少时, 会导致巩膜局部缺氧, 使缺氧诱导因子-1 α (hypoxia-inducible factor-1 α , HIF-1 α)通路在小鼠近视巩膜中被激活, 近视性巩膜重塑发生, 促进 AL 增长, 从而加速近视发展, 而抗缺氧药物可以抑制实验性近视的发展[4]。脉络膜血流作为巩膜血液供应的重要来源, 脉络膜血流量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]。在动物研究中发现近视豚鼠脉络膜厚度与血流量的变化呈正相关, 脉络膜血流量的增加减轻了巩膜缺氧, 并且通过释放潜在的、具有调节性巩膜细胞外基质重塑的生长因子, 影响巩膜重塑, 从而抑制了眼轴的增长发展[6], 因此, 脉络膜厚度改变的主要原因可能是脉络膜血流的改变。Zhang 等人在豚鼠近视模型研究中发现近视眼中脉络膜厚度的变化与血流灌注的变化呈正相关[7]。同时 Zhou X 等人在豚鼠近视模型上展开了一系列研究, 发现哌唑嗪(见表 2), 在改善脉络膜厚度和脉络膜血流后可以抑制形觉剥夺性近视和负镜片诱导性近视[8]; 并且给予人眼调节刺激诱发调节反应后, 也可以引起显著的 ChT 变薄和 ChBF 的减少。Wu 等使用扫频光源光学相干断层成像技术(swept-source optical coherence tomography, SS-OCT)对 34 例屈光不正患者进行脉络膜厚度及血流密度测量发现, 脉络膜厚度变薄及血流灌注降低与近视严重程度相关[7]。

Table 1. Research on the mechanisms of choroidal changes in myopia progression
表 1. 脉络膜变化与近视进展的机制研究

研究维度	实验对象/模型	关键发现
脉络膜厚度与眼轴关系	年轻近视成人	脉络膜厚度(ChT)与眼轴长度(AL)呈负相关, 变厚可抑制 AL 增长
巩膜缺氧机制	小鼠近视模型	脉络膜血流(ChBF)减少→巩膜缺氧→激活 HIF-1 α 通路→促进巩膜重塑和 AL 增长
血流与缺氧关联	豚鼠近视模型	脉络膜血流量增加可减轻巩膜缺氧, 抑制 AL 增长
临床验证	屈光不正患者	脉络膜变薄及血流灌注降低与近视严重程度显著相关

Table 2. Impact of pharmacological and optical interventions on choroidal dynamics and myopia progression
表 2. 药物与光学干预对脉络膜及近视的影响

干预方式	作用对象/模型	干预效果
低浓度阿托品	年轻近视成人	通过调节脉络膜厚度抑制 AL 增长
抗缺氧药物	小鼠近视模型	抑制 HIF-1 α 通路激活, 减缓实验性近视发展
哌唑嗪(α 1 受体拮抗剂)	豚鼠近视模型	改善 ChT 和 ChBF, 抑制形觉剥夺性近视和负镜诱导性近视
光学调节刺激	人眼调节反应	诱发 ChT 变薄和 ChBF 减少, 提示动态调节机制与近视进展相

3. 户外活动与光照环境对近视发生发展的影响及其机制研究

当今社会, 由于智能手机、平板电脑等电子产品的普及, 人们在室内活动的时间显著增加, 加上现在越来越多的人选择在城市居住、长期从事近距离工作等因素使得近视的发生率逐年呈现出上升趋势。

无论父母是否近视, 每天 2 小时及以上的户外活动都能降低近视的发生率[9]。Cao 等人基于随机对照试验的系统综述和荟萃分析中报道了户外活动时间对预防近视的重要性[10], 他们提到在课外多休息 20 分钟有助于减缓屈光不正的变化速度。在中国大陆地区进行的临床试验研究显示, 户外组增加 40 分钟的学校户外活动, 屈光不正和眼轴长度的变化都比对照组慢。在中国台湾地区进行的另一项随机对照试验也有类似的发现, 得出了类似的结果。

户外活动对近视的保护机制很复杂。Landis 等测量了儿童配戴可穿戴光传感器在不同照明条件下度过的时间, 首次发现在近视儿童中, 暗光暴露明显更多[11]。Ren 等对小鼠进行 2 周形觉剥夺后, 发现小鼠视网膜中 DA 水平下降, 并且与近视的发展有关[12]。Norton 等用动物模型研究屈光状态与光照条件的关系, 发现弱光(1~50 lux)和黑暗(<1 lux)有利于眼轴长度的延长, 如果没有角膜变化, 则会导致近视。然而, 强光(1000~2800 lux)会延迟近视的发生和发展。这种效应可能是强光刺激视网膜 ON 通路中多巴胺 D1 (Dopamine D1, DAD1)受体活性增加的结果[13]。一些使用鸡、树鼩和恒河猴[14]等动物模型的实验表明, 强光可以减少由形觉剥夺性近视或透镜诱导性近视引起的近视, 增加小鼠内源性 DA 合成和释放, 可防止小鼠近视[15]。

除了光线水平, 光的光谱组成也会影响近视和近视的发展。与室内最常用的人工光源(如荧光灯、发光二极管、卤素灯)相比, 太阳光的光谱在一天中是动态的, 波长分布更充分。自然光线包含紫光、蓝光、红光、紫外线、红外线等波长的光。不同波长的光对近视发展的影响(见表 3)逐渐被大家了解。Johnson 等观察到, 在短波长蓝光(430 nm)下饲养的雏鸡, 随着眼球轴向增长的减少而变得更加近视[16]。Gawne 等对幼年树鼩进行研究发现, 闪烁的蓝光会产生近视, 而稳定的蓝光可以实现正常的正视化(尽管变异性增加)。当幼年恒河猴戴上红色滤光片的眼镜或在红光下长大时, 它们会变得更加远视[17]。Gawne 等发现树鼩的眼睛可以通过抑制轴向增长来适应正镜, 但是随着年龄的增长, 它们会失去这种能力, 并且窄带红光抑制幼年树鼩的眼轴增长尤为明显, 即使在年龄较大的幼年和青少年动物中也保持着这种效果, 在完成正常正视化的青少年树鼩中用红光治疗产生远视[18]。在实验环境中与绿光(521 nm)和红光(623 nm)相比, 暴露于短波蓝光(460 nm) 1 小时可减少年轻人(20~32 岁)的轴向增长[19]。同样, 使用闪烁的蓝光(峰值 450 nm)刺激视神经头 1 或 10 分钟可增加视网膜活性(增加双极细胞的 b 波振幅)。这种干预是基于这样一个事实: 蓝光会刺激光敏视网膜神经节细胞轴突中的黑视素, 从而调节神经递质 DA 的释放[20]。因此不同波长的光照成分可能在近视发生发展过程中发挥重要作用, 但是其临床作用及其机制仍然还有待进一步深入研究。

Table 3. Comparative analysis of different light wavelengths on myopia development

表 3. 不同波长的光对近视的影响对比

光源类型	波长范围(nm)	实验对象	干预方式	结果
紫光(VL)	360~400	小鸡/小鼠	高亮度紫光照射	抑制眼轴延长, 上调 EGR1 基因, 激活 OPN5 通路
短波蓝光	430	雏鸡	暴露于短波长蓝光	加重近视(轴向增长增加)
红光	623	树鼩/恒河猴	红色滤光片/红光环境	促进远视, 抑制眼轴增长
白光	420~680	小鼠	强光照射	通过 D1 受体激活, 抑制近视

4. 紫光抑制近视的跨物种机制与临床转化：从 OPN5-EGR1 信号通路到脉络膜

最新研究表明, VL 相较于其他波长的光具有更强的近视抑制作用。Torii 等人的研究表明, 常用的室

内光源中不存在 VL,但 VL 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), 刺激视网膜神经细胞上的神经视蛋白 5 (neuropsin-5, OPN-5)抑制人类近视发生发展并减少眼轴增长[21]。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(360~400 nm, 1116~1349 lux)下,发现近视度数降低,近视儿童配戴透紫光和不透紫光两种类型的隐形眼镜,结果显示(见表 4),紫光透射隐形眼镜能抑制近视进展。同时该团队回顾性研究 25 岁以上成年高度近视患者在非紫光透射和紫光透射的有晶状体眼人工晶状体植入术后 5 年,发现非紫光透射的有晶状体眼人工晶状体植入术后的高度近视患者近视度数增加了近 2 倍,眼轴长度增加了近 4 倍,结果表明,紫光对高度近视的成年人眼轴增长可能有一定的抑制作用[22]。Wang 等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[23]。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,因此我们猜测短波长(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[24]。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% [25]。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 μW/cm²)眼镜框架的儿童,眼轴增长率降低,脉络膜厚度增厚[26],这意味着紫光可能通过影响脉络膜厚度及血流在近视防控中发挥作用。

Table 4. Clinical research evidence of prevention and control of myopia by violet light
表 4. 紫光防控近视的临床研究依据

研究者	年份	试验设计	干预措施	结果
Mori <i>et al.</i>	2021	儿童随机对照试验	透紫光眼镜 vs 不透紫光眼镜	紫光组眼轴增长率降低 21.4%
Torii <i>et al.</i>	2017	成人回顾性研究	紫光透射人工晶状体	紫光组近视度数增加减少 50%, 眼轴增长减缓 40%
Wang <i>et al.</i>	2020	小鸡近视模型	紫光暴露	抑制剥夺性近视, 刺激视网膜 DA 释放

5. 结论

综上所述,近年研究表明,紫光(360~400 nm)在近视防控中展现出独特优势。其作用机制涉及多层面调控:通过激活视网膜 OPN5 光感受器,上调保护性基因 EGR-1 表达,并促进多巴胺释放,从而抑制眼轴增长;同时,紫光可增厚脉络膜并改善其血流灌注,缓解巩膜缺氧(如抑制 HIF-1α 通路),进一步阻断近视性巩膜重塑。动物实验(如小鸡、小鼠模型)和临床试验均证实了紫光的有效性,例如日本儿童佩戴透紫光眼镜后,眼轴增长率降低 21.4%,且脉络膜显著增厚,提示其双重调控作用。与蓝光(可能加重近视)和红光(促进远视但适用性受限)不同,紫光在光谱特异性干预中更具潜力。此外,紫光通过自然光环境(如户外活动)即可获取,与现有措施(如 0.01%硫酸阿托品滴眼液、角膜塑形镜)相比更具非侵入性和安全性。然而,不同研究中紫光波长、强度、干预时长差异较大,需建立统一的剂量-效应模型以指导后期研究及临床应用。未来可结合多波长动态光照模拟、跨物种机制对比及长期追踪等方式,明确紫光的安全性、优化紫光干预方案,同时仍需进行更多机制研究探讨其影响近视进展分子机制。

参考文献

[1] Holden, B.A., Fricke, T.R., Wilson, D.A., Jong, M., Naidoo, K.S., Sankaridurg, P., *et al.* (2016) Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*, **123**, 1036-1042. <https://doi.org/10.1016/j.optha.2016.01.006>

- [2] Naidoo, K.S., Fricke, T.R., Frick, K.D., Jong, M., Naduvilath, T.J., Resnikoff, S., *et al.* (2019) Potential Lost Productivity Resulting from the Global Burden of Myopia. *Ophthalmology*, **126**, 338-346. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2018.10.029>
- [3] Sander, B.P., Collins, M.J. and Read, S.A. (2019) Short-Term Effect of Low-Dose Atropine and Hyperopic Defocus on Choroidal Thickness and Axial Length in Young Myopic Adults. *Journal of Ophthalmology*, **2019**, Article ID: 4782536. <https://doi.org/10.1155/2019/4782536>
- [4] Wu, H., Chen, W., Zhao, F., Zhou, Q., Reinach, P.S., Deng, L., *et al.* (2018) Scleral Hypoxia Is a Target for Myopia Control. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **115**, E7091-E7100. <https://doi.org/10.1073/pnas.1721443115>
- [5] Liu, Y., Wang, L., Xu, Y., Pang, Z. and Mu, G. (2021) The Influence of the Choroid on the Onset and Development of Myopia: From Perspectives of Choroidal Thickness and Blood Flow. *Acta Ophthalmologica*, **99**, 730-738. <https://doi.org/10.1111/aos.14773>
- [6] Zhang, S., Zhang, G., Zhou, X., Xu, R., Wang, S., Guan, Z., *et al.* (2019) Changes in Choroidal Thickness and Choroidal Blood Perfusion in Guinea Pig Myopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **60**, 3074-3083. <https://doi.org/10.1167/iovs.18-26397>
- [7] Wu, H., Zhang, G., Shen, M., Xu, R., Wang, P., Guan, Z., *et al.* (2021) Assessment of Choroidal Vascularity and Choriocapillaris Blood Perfusion in Anisomyopic Adults by SS-OCT/OCTA. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **62**, Article No. 8. <https://doi.org/10.1167/iovs.62.1.8>
- [8] Zhou, X., Zhang, S., Zhang, G., Chen, Y., Lei, Y., Xiang, J., *et al.* (2020) Increased Choroidal Blood Perfusion Can Inhibit Form Deprivation Myopia in Guinea Pigs. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **61**, Article No. 25. <https://doi.org/10.1167/iovs.61.13.25>
- [9] Morgan, I.G. (2018) Myopia Prevention and Outdoor Light Intensity in a School-Based Cluster Randomized Trial. *Ophthalmology*, **125**, 1251-1252. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2018.04.016>
- [10] Cao, K., Wan, Y., Yusufu, M. and Wang, N. (2019) Significance of Outdoor Time for Myopia Prevention: A Systematic Review and Meta-Analysis Based on Randomized Controlled Trials. *Ophthalmic Research*, **63**, 97-105. <https://doi.org/10.1159/000501937>
- [11] Pérez-Fernández, V., Milosavljevic, N., Allen, A.E., Vessey, K.A., Jobling, A.I., Fletcher, E.L., *et al.* (2019) Rod Photoreceptor Activation Alone Defines the Release of Dopamine in the Retina. *Current Biology*, **29**, 763-774.e5. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.01.042>
- [12] Ren, X., Zhang, Q., Yang, J., Zhang, X., Zhang, X., Zhang, Y., *et al.* (2021) Dopamine Imaging in Living Cells and Retina by Surface-Enhanced Raman Scattering Based on Functionalized Gold Nanoparticles. *Analytical Chemistry*, **93**, 10841-10849. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.1c01108>
- [13] Chen, S., Zhi, Z., Ruan, Q., Liu, Q., Li, F., Wan, F., *et al.* (2017) Bright Light Suppresses Form-Deprivation Myopia Development with Activation of Dopamine D1 Receptor Signaling in the on Pathway in Retina. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **58**, 2306-2316. <https://doi.org/10.1167/iovs.16-20402>
- [14] Rucker, F. (2019) Monochromatic and White Light and the Regulation of Eye Growth. *Experimental Eye Research*, **184**, 172-182. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2019.04.020>
- [15] Landis, E.G., Chrenek, M.A., Chakraborty, R., Strickland, R., Bergen, M., Yang, V., *et al.* (2020) Increased Endogenous Dopamine Prevents Myopia in Mice. *Experimental Eye Research*, **193**, Article ID: 107956. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2020.107956>
- [16] Johnson, E.N., Westbrook, T., Shayesteh, R., Chen, E.L., Schumacher, J.W., Fitzpatrick, D., *et al.* (2017) Distribution and Diversity of Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells in Tree Shrew. *Journal of Comparative Neurology*, **527**, 328-344. <https://doi.org/10.1002/cne.24377>
- [17] Hung, L., Arumugam, B., She, Z., Ostrin, L. and Smith, E.L. (2018) Narrow-Band, Long-Wavelength Lighting Promotes Hyperopia and Retards Vision-Induced Myopia in Infant Rhesus Monkeys. *Experimental Eye Research*, **176**, 147-160. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2018.07.004>
- [18] Gawne, T.J., Ward, A.H. and Norton, T.T. (2017) Long-Wavelength (Red) Light Produces Hyperopia in Juvenile and Adolescent Tree Shrews. *Vision Research*, **140**, 55-65. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2017.07.011>
- [19] Thakur, S., Dhakal, R. and Verkicharla, P.K. (2021) Short-Term Exposure to Blue Light Shows an Inhibitory Effect on Axial Elongation in Human Eyes Independent of Defocus. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **62**, Article No. 22. <https://doi.org/10.1167/iovs.62.15.22>
- [20] Schilling, T., Amorim-de-Sousa, A., A Wong, N., Bahmani, H., González-Méijome, J.M. and Fernandes, P. (2022) Increase in B-Wave Amplitude after Light Stimulation of the Blind Spot Is Positively Correlated with the Axial Length of Myopic Individuals. *Scientific Reports*, **12**, Article No. 4785. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08319-5>
- [21] Jiang, X., Pardue, M.T., Mori, K., Ikeda, S., Torii, H., D'Souza, S., *et al.* (2021) Violet Light Suppresses Lens-Induced

- Myopia via Neuropsin (OPN5) in Mice. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **118**, e2018840118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2018840118>
- [22] Torii, H., Ohnuma, K., Kurihara, T., Tsubota, K. and Negishi, K. (2017) Violet Light Transmission Is Related to Myopia Progression in Adult High Myopia. *Scientific Reports*, **7**, Article No. 14523. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09388-7>
- [23] Wang, M., Schaeffel, F., Jiang, B. and Feldkaemper, M. (2018) Effects of Light of Different Spectral Composition on Refractive Development and Retinal Dopamine in Chicks. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **59**, 4413-4424. <https://doi.org/10.1167/iovs.18-23880>
- [24] Strickland, R., Landis, E.G. and Pardue, M.T. (2020) Short-Wavelength (violet) Light Protects Mice from Myopia through Cone Signaling. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **61**, Article No. 13. <https://doi.org/10.1167/iovs.61.2.13>
- [25] Mori, K., Torii, H., Hara, Y., Hara, M., Yotsukura, E., Hanyuda, A., *et al.* (2021) Effect of Violet Light-Transmitting Eyeglasses on Axial Elongation in Myopic Children: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Clinical Medicine*, **10**, Article No. 5462. <https://doi.org/10.3390/jcm10225462>
- [26] Torii, H., Mori, K., *et al.* (2022) Short-Term Exposure to Violet Light Emitted from Eyeglass Frames in Myopic Children: A Randomized Pilot Clinical Trial. *Journal of Clinical Medicine*, **11**, Article Number 6000. <https://doi.org/10.3390/jcm11206000>