

# 光照对屈光发育的影响研究

唐国栋<sup>1,2</sup>, 宋继科<sup>1,2</sup>, 解孝锋<sup>2,3</sup>, 毕宏生<sup>2,3</sup>

引用:唐国栋,宋继科,解孝锋,等. 光照对屈光发育的影响研究. 国际眼科杂志 2021;21(4):636-639

基金项目:国家重点研发计划(No. 2019YFC1710200, 2019YFC1710203)

作者单位:<sup>1</sup>(250355)中国山东省济南市,山东中医药大学;  
<sup>2</sup>(250002)中国山东省济南市,山东省中西医结合眼病防治重点实验室 山东省高校中西医结合眼病防治技术(强化)重点实验室 山东中医药大学眼科研究所;  
<sup>3</sup>(250002)中国山东省济南市,山东中医药大学附属眼科医院

作者简介:唐国栋,2018级在读硕士研究生,研究方向:白内障及屈光不正。

通讯作者:毕宏生,博士,教授,主任医师,博士研究生导师,山东中医药大学附属眼科医院院长,研究方向:中西医结合临床眼科疾病的研究、白内障及屈光不正. hongshengbi@163.com

收稿日期:2020-06-09 修回日期:2021-02-26

## 摘要

在当今社会,由于遗传因素和环境因素共同作用,儿童青少年近视发病率正在急剧增加。尽管有遗传因素的影响,但有诸多研究表明环境因素在其中起着至关重要的作用,其中户外活动已被证实是降低儿童近视发病率的主要保护因素。在户外活动中的诸多因素中,光照又是其中的重要因素之一。不同的光照环境,如光照的强度、波长、时间、节律等都可以影响眼球的屈光发育。本文总结了近年来光照对眼球屈光发育的临床与动物实验的研究成果,为进一步探究屈光不正发生发展机制及防治策略提供参考。

关键词:近视;波长;光照时间;光照强度;光照节律

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2021.4.13

## Effect of light on refractive development

Guo-Dong Tang<sup>1,2</sup>, Ji-Ke Song<sup>1,2</sup>, Xiao-Feng Xie<sup>2,3</sup>, Hong-Sheng Bi<sup>2,3</sup>

Foundation items: National Key Research and Development Program of China (No.2019YFC1710200, 2019YFC1710203)

<sup>1</sup>Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250355, Shandong Province, China; <sup>2</sup>Shandong Provincial Key Laboratory of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine for Prevention and Therapy of Ocular Diseases; Key Laboratory of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine for Prevention and Therapy of Ocular Diseases in Universities of Shandong; Eye Institute of Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250002, Shandong Province, China; <sup>3</sup>Ophthalmic Hospital Affiliated to Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250002, Shandong Province, China

Correspondence to: Hong - Sheng Bi. Shandong Provincial Key Laboratory of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine

for Prevention and Therapy of Ocular Diseases; Key Laboratory of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine for Prevention and Therapy of Ocular Diseases in Universities of Shandong; Eye Institute of Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250002, Shandong Province, China; Ophthalmic Hospital Affiliated to Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250002, Shandong Province, China. hongshengbi@163.com  
Received:2020-06-09 Accepted:2021-02-26

## Abstract

• In modern society, children and adolescents are experiencing an increasing incidence of myopia, resulting from the combined influence of genetic factor and environmental factor. Despite the influence of genetic factor, a great number of researches indicate that environmental factor has been playing a crucial role. Outdoor activity proves to be a major protective factor to reduce the incidence of children's myopia. Sunlight is one of the important ones among various factors of outdoor activity. The intensity, wavelength and rhythm of sunlight may all affect eyeball's refraction development. Varied sunlight environment may have different influences on eyeball's refraction development. The paper has summarized clinical and trial and animal experiment research results on how sunlight affects eyeball's refraction development, and it has offered references to further study on refractive error development mechanism and prevention strategy.

• KEYWORDS: myopia; wave length; illumination time; illumination intensity; light rhythm

Citation:Tang GD, Song JK, Xie XF, et al. Effect of light on refractive development. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2021; 21(4):636-639

## 0 引言

国际照明委员会(International Commission on Illumination, CIE)出版的“国际照明词汇”(International Lighting Vocabulary, ILV)中显示光的概念为:(1)视觉特有的所有感觉和知觉的特征;(2)从其激发人类视觉系统的能力的角度考虑的辐射。研究表明,不同强度、波长和频率的光照对于眼球屈光发育存在着显著的区别<sup>[1-9]</sup>。研究光照对近视的影响能为以后用正确的光照参数来抑制近视的进展提供参考,本文总结了近年来光照影响近视发生发展的研究成果,这有利于进一步探究近视发生发展的机制,也可为此新策略进一步应用于临床提供参考。

### 1 光照强度对屈光发育的影响

测量发现,室内的光照强度仅为几百勒克斯(Lx),室外的光照强度在晴天可以达到10000~100000Lx,树荫下

的光照强度达到了 5000~7000Lx。在阴天条件下,户外光照强度水平亦可达 11000~18000Lx<sup>[10]</sup>。

Cohen 等<sup>[11]</sup>发现,在低照度(50Lx)的光照条件下饲养的雏鸡会发展成近视,在高照度(10000Lx)的光照条件下饲养的雏鸡会发展成远视。对于形觉剥夺性近视(form deprivation myopia, FDM)模型小鸡,在更明亮的光照环境下(10000~40000Lx),随着光强度的增加(500、10000、20000、30000 和 40000Lx),雏鸡的屈光度降低,眼轴变短。而且每天暴露于 40000Lx 的光照下几乎完全可以防止 FDM 的发生<sup>[12]</sup>。对于恒河猴来说,暴露在高照度的阳光下也可减少近视的风险<sup>[3]</sup>,且强光对恒河猴的 FDM 发展也有保护作用<sup>[13]</sup>。与 FDM 不同<sup>[14]</sup>,高水平的光照强度并没有改变透镜诱导性近视(lens induced myopia, LIM)对眼睛的诱导作用。在 LIM 的雏鸡中,虽然高水平光照下负透镜的诱导速度明显减慢,但是最终还是会诱导成近视。对于灵长类动物来说,高水平的光强度并没有改变和减缓灵长类动物 LIM 的发生<sup>[15]</sup>。这些结果表明,在灵长类动物中,FDM 和 LIM 引起的近视是由不同机制介导的。对于极低的光照强度来说,Landis 等<sup>[8]</sup>提出在抑制近视发生的过程中,暗光(<1Lx)和高强度光线(>1000Lx)一样重要。他们发现近视儿童在暗光下(<1Lx)暴露的时间也明显低于非近视儿童。这表明暗光环境对人类视觉的发育也很重要。以上研究结果表明,在制定高水平光照强度的治疗方案以延缓儿童近视时,应考虑 FDM 和 LIM 引起的近视之间的差异,并且应该用弱光和强光综合作用来达到预防近视的目的。

## 2 光照时间对屈光发育的影响

最近有一些研究表明,随着户外活动时间的增加,近视的发生率和进展率显著降低<sup>[16-19]</sup>。可见,暴露在光照下的时间长短也其抑制近视发生发展的重要因素。

Lan 等<sup>[20]</sup>将雏鸡暴露在恒定的强光下不同时间后发现,每天暴露于连续强光照 5h 后,才能观察到对近视的显著抑制作用。在流行病学调查中,也有相应的结果。在丹麦,根据地区和季节的不同,一天接受光照的时间从 7~17.5h 不等,Cui 等<sup>[21]</sup>通过研究 235 例患有近视的丹麦北部儿童发现,在 6mo 中,居住在平均接受日照 2782±19h 的地区的儿童,眼轴增长 0.12±0.09mm,近视进展 0.26±0.27D;居住在平均接受日照 1681±24h 的地区的儿童眼轴增长 0.19±0.10mm,近视进展 0.32±0.27D。有学者根据所做出的流行病学研究估计,儿童每天需要在至少 10000Lx 的光照水平下度过大约 3h,才能有效防控近视的发生发展<sup>[22]</sup>。Wu 等<sup>[23]</sup>研究发现,较高的日均曝光量者眼轴生长相对缓慢。此外,他们还研究发现,在较低的光照强度(1000~3000Lx)下延长曝光时间(>200min),可以达到与较高光照强度(10000Lx)较短曝光时间(125~199min)下的近视发展相近的抑制效果。Wu 等<sup>[23]</sup>提出的这一方案为防控近视提供了一个较好的光暴露标准,同时使儿童免于因暴露于高强度的阳光照射而产生白内障、黄斑病变或皮肤癌等疾病。

## 3 波长对屈光发育的影响

**3.1 可见光** 可见光是电磁波谱中人眼可以感知的部分,一般人的眼睛可以感知的光的波长在 400~780nm。波长不同的电磁波,引起人眼的颜色感觉不同。在可见光范围内,研究人员发现某段波长范围的光对近视的发生和发展有一定的影响。阳光的波谱具有平滑连续分布的特征,但

是室内光源,如荧光灯或发光二极管,有一些波长区域非常强,而一些区域却是缺失的。Qian 等<sup>[24]</sup>对比了红绿色盲高中生与色觉正常高中生近视的患病率。发现在红绿色盲患者中,近视的发病率明显低于正常学生,近视程度也明显低于色觉正常的学生。这表明色觉差异或不同单色光可能在近视的发生发展中起到重要作用。

动物实验也证实了单色光对近视发生和发展的影响。Zou 等<sup>[25]</sup>将豚鼠随机分为短波(SL)组,中波(ML)组和白光(WL)组。在照明 10wk 之前和之后测量屈光度和轴向长度,发现豚鼠在 SL 组出现相对远视,在 ML 组出现相对近视。同样的实验结果也在雏鸡<sup>[3]</sup>、鱼<sup>[26]</sup>等动物中得到。在短波长的单色光饲养下的动物,鸡<sup>[27]</sup>和小鼠<sup>[28]</sup>变得更加远视。这可能是由于波长离焦的作用。与长波光相比,短波长光的焦点更靠前,是由于同一光学介质对短波长光比对长波长光具有更高的折射率,两者之差称为纵向色差(longitudinal chromatic aberration, LCA)。通过 LCA 得出,长波长单色光因其焦点靠后导致眼球相应的代偿性增长以让其落在视网膜上,产生相对性近视;短波长单色光焦点靠前产生相对性远视。

Liu 等<sup>[29]</sup>将 9 只猴子饲养在红光下发现,红光下 9 只猴子中的 2 只猴子在第 16wk 出现近视,而其他 7 只猴子在整个实验过程中一直保持远视,但是远视度数略有下降。对于同样的实验动物,Smith 等<sup>[30]</sup>通过在恒河猴眼前加入红色滤光片来保证红光照射,研究发现恒河猴在红色单色光下会变得更加远视。对于同样的实验动物,不同的研究者得出了不同的结果。这两者的差异可能是由于光照强度引起的,通过比较发现,Liu 等<sup>[29]</sup>使用的红色 LED 灯的光照度接近 200Lx,Smith 等<sup>[30]</sup>使用红色滤光片,其将照射到眼睛内的光线强度下降到 50Lx,这个强度的光线达不到眼睛向正视化发展的条件,故表达为更加远视的状态。在其他物种,Gawne 等<sup>[31]</sup>发现树鼩在暴露于窄带红光下 13d 后仍保持远视,而暴露于窄带蓝光下会使树鼩在开始的一段时间内(约 27d)变得远视,然后在后期阶段变得近视<sup>[32]</sup>。作者解释这是由于在窄带蓝光中,树鼩失去了通过反馈机制检测离焦并且调节的能力,这使 LCA 发挥不了作用。

对于为何在长波长光照射下,豚鼠、雏鸡等实验动物产生近视,而恒河猴和树鼩产生远视,目前这种差异产生的具体原因还在研究当中,除了光照强度和物种外,还可能是由于带宽、年龄、特定波长分布,以及暴露的时间等因素造成的。

**3.2 紫外光** 根据 CIE 的 ILV,可见光的下限被定义为 360~400nm,但紫外光的 A 射线的范围是 320~400nm<sup>[33]</sup>。这两者的范围重叠,所以很多时候我们采取了过度的防紫外线措施(如防紫外线眼镜、窗户玻璃等),这其实也挡住了有益的可见紫光(360~400nm)的照射。

在动物实验中,Strickland 等<sup>[28]</sup>将小鼠暴露在紫光(400±20nm)中,发现紫光抑制了近视的发生。但是其将视锥细胞功能障碍的小鼠暴露在紫光中,紫光并没有抑制近视的发生,这表明视锥细胞参与了紫光引发的远视反应。Torii 等<sup>[27]</sup>将鸡暴露在 360~400nm 的紫外光下时,发现紫外线对 LIM 有保护作用,并且发现通过紫外线照射可使近视抑制基因 Egr1 表达增加。Torii 等<sup>[27]</sup>还进行了回顾性的临床研究,比较了近视儿童配戴防紫外线隐形眼镜和不防紫外线隐形眼镜的区别。数据显示,不防紫外线

的隐形眼镜对近视进展的抑制作用最强。以上这些结果表明,紫光和紫外光可能是控制近视发展的重要室外环境因素之一。

#### 4 光照节律对眼球屈光发育的影响

昼夜节律是一种周期约为24h的生物变异,由一种基于细胞的自主分子计时机制。早在1957年,Jensen等<sup>[34]</sup>发现接受连续光照的雏鸡的眼球重量比每天只接受12h人工光照的雏鸡的眼球重量重大约38%,眼球直径大2.4mm。Nickla等<sup>[35]</sup>在暴露于持续光照下的雏鸡中发现了其眼轴的增长,他们猜测在异常的明暗周期下可能改变眼的昼夜节律,这导致了异常的眼球发育和屈光不正的发展。Weiss等<sup>[36]</sup>发现雏鸡的眼睛在白天生长,在晚上“收缩”。脉络膜厚度也表现出昼夜节律,夜间增厚,白天变薄,与眼轴生长的节律大致相反。且发生形觉剥夺性近视的雏鸡,眼轴的生长节律消失,眼睛在白天和黑夜都生长。对于人眼来说,人眼的眼轴长度通常在中午最长,在晚上最短,日变化的平均幅度约为25~45 $\mu\text{m}$ <sup>[37]</sup>。Brown等<sup>[38]</sup>对现有数据的重新分析,他们发现人类脉络膜厚度的日波动与眼轴长度的波动大致相反,日变化平均幅度约为30 $\mu\text{m}$ 。

为探究最佳的光照时间节律对近视的影响,Zhou等<sup>[39]</sup>通过将小鼠饲养在3种不同的光/暗周期(18h/6h,12h/12h和6h/18h)下,观察了每天长时间光照对眼屈光状态和各种光学成分的影响,发现18h组与12h和6h的光照相比,其小鼠的近视程度更高,玻璃体更长,视网膜更薄,可见在长时间的环境照明节律中可以诱导相对近视。

#### 5 光照频率对近视的影响

儿童在室内使用电视、智能手机、平板电脑等屏幕终端已经成为我们日常生活中的一种普遍的现象,屏幕终端发出的光是频闪光。除电子产品外,LED台灯也是儿童经常接触的光源,与白炽灯或荧光灯相比,LED灯可能包含更多低频可见闪烁和低频不可见闪烁的光。

Pan等<sup>[40]</sup>发现在LED灯下学习的孩子相较于在白炽灯或荧光灯下更容易患近视。实验研究也表明,持续闪烁的光线会导致豚鼠进行性近视<sup>[41-42]</sup>。不同频率的闪烁光对近视产生不同的影响。在这些频率当中,0.5Hz的闪光比其他频率的光更容易诱导高度近视和眼轴轴向伸长。Schwahn等<sup>[43]</sup>指出6Hz或以上的闪烁光可抑制FDM和LIM的发生。但是,Crewther等<sup>[44]</sup>表明在低频(1、2、4Hz)的闪烁光条件下,配戴正或负镜片的小鸡最终会向近视的方向发展。

闪烁光刺激近视的确切发病机制尚不清楚。因此,需要更多的研究来阐明影响闪烁光诱导的近视的屈光发育的机制,特别是视网膜神经递质和神经调节剂与近视发生发展的关系,这可能会成为未来近视治疗和设计电子产品的重要参考。

#### 6 总结与展望

综上所述,不同的光照强度、频率以及波长等光环境的属性与眼球屈光发育存在着密切关联,这个过程中的作用机制也在逐渐明确,其刺激产生的各类信号因子很可能在眼球生长发育过程中扮演了重要的角色。利用什么强度的光照能防治近视又不易引发晒伤等损害、儿童青少年暴露在长波长单色光下还是短波长单色光下能防治近视等,这些关于光照与眼球屈光发育改变的相关性研究还有很多争议。随着研究的不断深入,研究者通过可穿戴设备

检测儿童青少年的户外光暴露量等参数,可以为以后寻找抑制近视发生发展的最佳光照强度、时间、波长等提供理论支持。在未来,也可为设计和开发防控近视的新型设备、设定照明行业的最佳参数等提供参考数据,以期更好地对儿童青少年近视进行预防和治疗,提高儿童青少年的视觉健康水平。

#### 参考文献

- 1 Sánchez-Tocino H, Villanueva Gómez A, Gordon Bolaños C, et al. The effect of light and outdoor activity in natural lighting on the progression of myopia in children. *J Fr Ophthalmol* 2019;42(1):2-10
- 2 Kim H, Seo JS, Yoo WS, et al. Factors associated with myopia in Korean children; Korea National Health and nutrition examination survey 2016-2017 (KNHANES VII). *BMC Ophthalmol* 2020;20(1):31
- 3 Lin G, Taylor C, Rucker F. Effect of duration, and temporal modulation, of monochromatic light on emmetropization in chicks. *Vision Res* 2020; 166: 12-19
- 4 Hung LF, Arumugam B, She Z, 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
- 5 Wang M, Schaeffel F, Jiang B, et al. Effects of Light of Different Spectral Composition on Refractive Development and Retinal Dopamine in Chicks. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2018; 59(11): 4413-4424
- 6 Read SA, Collins MJ, Vincent SJ. Light Exposure and Eye Growth in Childhood. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2015; 56(11): 6779-6787
- 7 Wang Y, Ding H, Stell WK, et al. Exposure to sunlight reduces the risk of myopia in rhesus monkeys. *PLoS One* 2015; 10(6): e0127863
- 8 Landis EG, Yang V, Brown DM, et al. Dim Light Exposure and Myopia in Children. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2018; 59(12): 4804-4811
- 9 Sarfare S, Yang J, Nickla DL. The effects of brief high intensity light on ocular growth in chicks developing myopia vary with time of day. *Exp Eye Res* 2020; 195: 108039
- 10 Lanca C, Teo A, Vivagandan A, et al. The Effects of Different Outdoor Environments, Sunglasses and Hats on Light Levels; Implications for Myopia Prevention. *Transl Vis Sci Technol* 2019;8(4):7
- 11 Cohen Y, Belkin M, Yehezkel O, et al. Dependency between light intensity and refractive development under light-dark cycles. *Exp Eye Res* 2011;92(1):40-46
- 12 Karouta C, Ashby RS. Correlation between light levels and the development of deprivation myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014; 56(1): 299-309
- 13 Smith EL 3rd, Hung LF, Huang J. Protective effects of high ambient lighting on the development of form-deprivation myopia in rhesus monkeys. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012; 53(1): 421-428
- 14 Stone RA, Cohen Y, McGlenn AM, et al. Development of Experimental Myopia in Chicks in a Natural Environment. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2016; 57(11): 4779-4789
- 15 Smith EL 3rd, Hung LF, Arumugam B, et al. Negative lens-induced myopia in infant monkeys; effects of high ambient lighting. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013; 54(4): 2959-2969
- 16 Wu PC, Tsai CL, Wu HL, et al. Outdoor activity during class recess reduces myopia onset and progression in school children. *Ophthalmology* 2013; 120(5): 1080-1085
- 17 Morgan IG, Xiang F, Rose KA, et al. Two Year Results from the Guangzhou Outdoor Activity Longitudinal Study (GOALS). *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012; 53(14): 2735-2735
- 18 张湘雯, 屈艳梅, 张兰英. 北京市海淀区小学生近视现状调查与影响因素分析. *国际眼科杂志* 2018; 18(8): 1477-1479
- 19 刘灵琳, 吴峥峥, 李冬锋, 等. 成都和绵阳地区青少年近视患病率及影响因素分析. *国际眼科杂志* 2019;19(7): 1196-1200

- 20 Lan W, Feldkaemper M, Schaeffel F. Intermittent episodes of bright light suppress myopia in the chicken more than continuous bright light. *PLoS One* 2014; 9(10): e110906
- 21 Cui D, Trier K, Munk RMS. Effect of day length on eye growth, myopia progression, and change of corneal power in myopic children. *Ophthalmology* 2013; 120(5): 1074–1079
- 22 Dolgin E. The myopia boom. *Nature* 2018; 519(7543):276–278
- 23 Wu PC, Chen CT, Lin KK, et al. Myopia Prevention and Outdoor Light Intensity in a School – Based Cluster Randomized Trial. *Ophthalmology* 2018;125(8):1239–1250
- 24 Qian YS, Chu RY, He JC, et al. Incidence of myopia in high school students with and without red – green color vision deficiency. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009; 50(4): 1598–1605
- 25 Zou L, Zhu X, Liu R, et al. Effect of Altered Retinal Cones/Opsins on Refractive Development under Monochromatic Lights in Guinea Pigs. *J Ophthalmol* 2018; 2018: 9197631
- 26 Timucin OB, Arabaci M, Cuce F, et al. The effects of light sources with different spectral structures on ocular axial length in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Exp Eye Res* 2016; 151: 212–221
- 27 Torii H, Kurihara T, Seko Y, et al. Violet Light Exposure Can Be a Preventive Strategy Against Myopia Progression. *EBioMedicine* 2017; 15: 210–219
- 28 Strickland R, Landis EG, Pardue MT. Short–Wavelength (Violet) Light Protects Mice From Myopia Through Cone Signaling. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2020;61(2):13
- 29 Liu R, Hu M, He JC, et al. The Effects of Monochromatic Illumination on Early Eye Development in Rhesus Monkeys. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014;55(3): 1901
- 30 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
- 31 Gawne TJ, Siegwart JT Jr, Ward AH, et al. The wavelength composition and temporal modulation of ambient lighting strongly affect refractive development in young tree shrews. *Exp Eye Res* 2017; 155: 75–84
- 32 Gawne TJ, Ward AH, Norton TT. Juvenile Tree Shrews Do Not Maintain Emmetropia in Narrow–band Blue Light. *Optom Vis Sci* 2018;95(10):911–920
- 33 Behar –Cohen F, Baillet G, de Agyuavives T, et al. Ultraviolet damage to the eye revisited: eye–sun protection factor (E–SPF®), a new ultraviolet protection label for eyewear. *Clin Ophthalmol* 2014; 8: 87–104
- 34 Jensen LS, Matson WE. Enlargement of avian eye by subjecting chicks to continuous incandescent illumination. *Science* 1957; 125(3251): 741
- 35 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
- 36 Weiss S, Schaeffel F. Diurnal growth rhythms in the chicken eye: relation to myopia development and retinal dopamine levels. *J Comp Physiol A* 1993; 172(3): 263–270
- 37 Stone RA, Quinn GE, Francis EL, et al. Diurnal axial length fluctuations in human eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004; 45(1): 63–70
- 38 Brown JS, Flitcroft DI, Ying GS, et al. In vivo human choroidal thickness measurements: evidence for diurnal fluctuations. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009; 50(1): 5–12
- 39 Zhou X, An J, Wu X, et al. Relative axial myopia induced by prolonged light exposure in C57BL/6 mice. *Photochem Photobiol* 2010;86(1):131–137
- 40 Pan CW, Wu RK, Liu H, et al. Types of Lamp for Homework and Myopia among Chinese School – Aged Children. *Ophthalmic Epidemiol* 2018; 25(3): 250–256
- 41 Li B, Luo X, Li T, et al. Effects of Constant Flickering Light on Refractive Status, 5–HT and 5–HT2A Receptor in Guinea Pigs. *PLoS One* 2016; 11(12): e0167902
- 42 程振英, 李镜海, 李荣, 等. 闪烁光对豚鼠眼球发育及近视形成的影响. *中华眼科杂志* 2004;40(9): 27–30
- 43 Schwahn HN, Schaeffel F. Flicker parameters are different for suppression of myopia and hyperopia. *Vision Res* 1997; 37(19): 2661–2673
- 44 Crewther SG, Barutcu A, Murphy MJ, et al. Low frequency temporal modulation of light promotes a myopic shift in refractive compensation to all spectacle lenses. *Exp Eye Res* 2006; 83(2): 322–328