

# 青少年近视主要环境危险因素及机制研究进展

王非, 李开宇, 陈艳华, 胡冀

湖南省疾病预防控制中心, 湖南 长沙 410005

**摘要:** 全球近视患病率为 28.3% 并呈现出急剧上升的趋势。预计到 2050 年, 全球一半人口将会受到其困扰。在中国, 儿童青少年近视正受到越来越多的关注。本文整理了近年来青少年近视环境危险因素及其相关机制的研究成果, 为开展后续研究及实施干预提供科学依据。

**关键词:** 青少年; 近视; 环境危险因素; 机制

**中图分类号:** R179 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-3110(2019)07-0893-05 **DOI:** 10.3969/j.issn.1006-3110.2019.07.035

## Research progress on main environmental risk factors for adolescent myopia and their mechanisms

WANG Fei, LI Kai-yu, CHEN Yan-hua, HU Ji

Hunan Provincial Center for Disease Control and Prevention, Changsha, Hunan 410005, China

**Abstract:** The global prevalence rate of myopia is 28.3% and shows a sharp upward trend. It is estimated that half the world's population will suffer from myopia by 2050. In China, myopia in children and adolescent is attracting more and more attention. This paper reviews recent studies on environmental risk factors and related mechanisms of adolescent myopia and provides a scientific basis for conducting further studies and implementing interventions.

**Key words:** adolescent; myopia; environmental risk factor; mechanism

目前全球近视患病率为 28.3%, 预计 2050 年全球一半人口将会受到其困扰<sup>[1]</sup>。中国在 2014 年对 261 832 名 7~22 岁青少年调查结果<sup>[2]</sup>表明总体视力不良率为 66.6%, 小学生、初中生、高中生、大学生视力不良率分别为 45.7%、74.4%、83.3%、86.4%。韩国 2010 年对 23 616 名来自首尔的 19 岁男性服役者体检<sup>[3]</sup>结果显示 96.5% 为近视, 高学历者近视风险较高。我国台湾地区对 1 958 名 7~12 岁青少年为期 4 年的队列研究表明<sup>[4]</sup>, 总体近视率从 26.8% 上升到 54.5%。相对来说, 西方国家患病率较低。哥伦比亚 2015-2017 年的一项研究表明<sup>[5]</sup>, 15 岁青少年近视率为 14.7%, 但表现出随着年龄增长而上升的趋势。澳大利亚 11~15 岁多种族儿童的总体近视患病率为 11.9%, 高加索和中东血统的儿童近视患病率比东南亚血统的儿童低<sup>[6]</sup>。波兰 10~14 岁城市儿童近视患病率 13.9%, 乡村儿童近视患病率 7.5%<sup>[7]</sup>。

高度近视可能致盲, 例如成人和青少年的视网膜裂孔, 黄斑退化和脉络膜新生血管, 可能需要手术、药物及终生护理, 同时对应着很高的社会投入。2013 年新加坡一项调查<sup>[8]</sup>显示调查范围内 40 岁以上近视

者每人平均每年用于近视相关的费用为 900 新加坡元 (约 709 美元) 用于验光、配镜、隐形眼镜、药物及手术治疗, 结合人口学等资料推断新加坡每年近视相关总成本约 9.59 亿新加坡元 (约 7.55 亿美元)。另一项研究根据 2007 年的资料, 推断每年因屈光不正引起的视力不良消耗的 GDP 达到 2 020 亿美元<sup>[9]</sup>。因此近视带给个人和社会的负担不容忽视, 对其进行研究和干预具有重大意义。

本文结合近年来关于近视的流行病学调查和实验室研究探讨了青少年近视主要环境危险因素及其相关机制。

### 1 近距离工作

**1.1 流行病学证据** 国外对 1989-2014 年期筛选出的 27 项相关研究进行的荟萃分析<sup>[10]</sup>结果表明, 近距离工作时间长与更高的近视风险相关 ( $OR = 1.14$ ,  $95\%CI: 1.08 \sim 1.20$ ), 每周近距离工作每增加 1 h, 近视风险将增加 2% ( $OR = 1.02$ ,  $95\%CI: 1.01 \sim 1.03$ )。在澳大利亚的一项队列研究中<sup>[11]</sup>, 近距离工作时间中等及较长的 6 岁组儿童比近距离工作时间短的儿童更容易近视 ( $OR = 1.68$ ,  $95\%CI: 0.89 \sim 3.16$  以及  $OR = 2.35$ ,  $95\%CI: 1.30 \sim 4.27$ ,  $P < 0.001$ ), 但是 12 岁组未

**作者简介:** 王非 (1980-), 男, 河南平舆人, 硕士, 主管医师, 主要从事儿少卫生及环境卫生工作。

观察到类似关联,这提示近距离工作可能对年龄较小者产生的影响较大。另一项来自悉尼的研究<sup>[12]</sup>指出,持续阅读时间和近视有独立的关联,提示持续的近距离工作(阅读)时间相对于总时间来说是更重要的影响因素,另外有多项研究<sup>[13-15]</sup>得到了类似的结论。此外,在高加索儿童<sup>[16]</sup>和澳大利亚儿童<sup>[13]</sup>中,近距离工作和近视表现出关联,但是在新加坡儿童<sup>[17]</sup>中关联没有显著性。

我国相关研究中,北京一项 15 066 名 7~18 岁青少年横断面调查<sup>[14]</sup>结果表明持续近距离读写( $OR=1.15$ ,  $95\%CI:1.11\sim1.20$ ;  $P<0.001$ ),学习期间较少休息( $OR=1.17$ ,  $95\%CI:1.13\sim1.21$ ;  $P<0.001$ )的儿童近视患病率明显偏高。2016 年天津一项中小學生视力调查<sup>[18]</sup>结果显示近距离学习时身体与书桌保持 1 拳距离是视力不良的保护因素( $OR=0.751$ ),眼睛与书本距离 $<20\text{ cm}$ ( $OR=1.575$ )、近距离学习时间 $120\sim180\text{ min}$ ( $OR=2.549$ )等行为是视力不良的危险因素( $P<0.05$ )。台湾对 18~24 岁入伍的新兵进行了横断面调查<sup>[19]</sup>,结果表明近距离工作和近视性屈光不正( $\beta=-0.18$ ,  $95\%CI:-0.22\sim-0.15$ ,  $P<0.001$ )以及眼轴延长( $\beta=0.10$ ,  $95\%CI:0.07\sim0.13$ ,  $P<0.01$ )存在关联。这些研究的结果支持近距离工作为青少年视力不良的危险因素。但是 Guo 等<sup>[20]</sup>在一项北京学龄儿童追踪调查中报导,在调整年龄、居住地后,包括学习时间在内的多项行为因素和屈光度变化未发现显著关联。这说明近距离工作是否为青少年近视环境危险因素有待进一步研究,还需要更多的流行病学调查予以支持。

**1.2 近距离工作危害视力的机制研究** 在眼睛的生长和屈光不正的发展中,离焦可能起到重要作用。这一观点在以鸡和灵长类为模型的动物实验中得到证实。

在以鸡<sup>[21-22]</sup>和狨猴<sup>[23-24]</sup>为模型的动物实验中发现脉络膜厚度短期改变适应眼睛屈光状态改变,然后通过调整巩膜生长发育来适应长期的改变。Winawer 等<sup>[25]</sup>对实验用鸡采用凹透镜介导的远视性离焦导致眼轴延长和近视,采用凸透镜介导的近视性离焦产生远视。

近距离用眼行为与动物模型中凹透镜介导的远视性离焦类似,屈光系统适应性调节能力不足将导致视网膜影像离焦,焦点后移至视网膜之后。短期内脉络膜快速变薄,由此使视网膜后移来获取清晰的视网膜成像。长时间的这种行为可能触发眼球后段朝向后移的焦点生长,导致眼轴延长及近视。因此,适应能力滞

后和过度近距离工作的个体产生近视是由于远视性离焦刺激眼轴延长<sup>[26-27]</sup>。

## 2 户外活动

**2.1 流行病学证据** 目前在全世界不同区域对不同种族进行的人群流行病学调查基本均支持户外活动时间与近视发生发展之间的统计学关联。2012 年 Sherwin 等<sup>[28]</sup>对来自 Medline、Embase、Web of Science 及 CENTRAL 的 2 912 篇相关文章进行荟萃分析的结果显示,调整协变量后每周增加 1 h 的户外活动时间减少 2%近视风险( $OR=0.981$ ,  $95\%CI:0.973\sim0.990$ ,  $P<0.01$ ,  $I^2=44.3\%$ )。一项包括多种族儿童的病例对照研究<sup>[29]</sup>表明,近视儿童室外活动时间在其近视发生之前及之后每周比正视儿童少 1.1~1.8 h,近视发生前缺乏室外活动或许是比近距离工作更强的影响因素。英国一项队列研究<sup>[30]</sup>表明,户外活动较多的 11 岁儿童与户外活动较少者相比,发生近视的风险比为 0.66( $95\%CI:0.47\sim0.93$ ),户外活动时间相比体育活动相比与近视发生具有更重要的关联,其他研究<sup>[31]</sup>也得到类似的结论。基于这些流行病学调查的结论,多项研究针对“增加户外活动时间”采取了干预措施,但结果有所不同。

在广州的一项干预研究<sup>[32]</sup>中,通过每天增加 40 min 户外活动时间并鼓励家长支持孩子休息日进行户外活动的方式对 6 所学校 952 名 6 岁小学生实施干预,结果显示干预组累计近视发病率为 30.4%,对照组为 39.5%,差异为 9.1%( $95\%CI:14.1\%\sim4.1\%$ ,  $P<0.001$ ),其后三年干预组屈光度变化优于对照组。新加坡的 FIT(family incentive trial)干预试验<sup>[33]</sup>通过组织家庭周末户外活动、结合电子计步器激励孩子日常户外活动的方式对 147 名 6~12 岁孩子及其家庭进行干预,结果显示虽然干预措施增长了户外活动时间,但是并未观察到干预措施与近视的关联。新加坡 FIT 研究中使用了电子计步器,相对来说获取的运动数据可能更加客观,如果能增大样本量则能具有更好的代表性。

**2.2 户外活动保护视力的机制研究** 虽然流行病学调查结果支持户外活动与近视之间的联系,但是户外活动对近视发生发展产生保护作用的机制尚不明确,实验室研究集中在以下几个方面。

一种假设<sup>[34]</sup>认为户外活动的保护作用是由于强光刺激视网膜释放多巴胺,多巴胺表现出抑制眼轴延长这一导致近视的结构基础的作用。有动物实验支持此假设,研究者在实验室条件下复制了强光对近视进

展的保护作用。一项实验<sup>[35]</sup>在不同光照强度水平下对鸡进行明暗循环和持续光照两种模式饲养,结果均显示光照强度高的组别多巴胺浓度增加,光照强度和多巴胺浓度均与更轻的近视发展显著关联(明暗交替组  $R = 0.91$ ,  $P < 0.0001$ ; 持续光照组  $R = 0.74$ ,  $P < 0.0001$ )。强度达到 25 000 lux 的光照对猴子形觉剥夺性近视模型起到了保护作用<sup>[36]</sup>。另外,玻璃体内注射多巴胺受体兴奋剂能减少形觉剥夺性近视的发展<sup>[37]</sup>。这些研究说明多巴胺至少一定程度的参与了户外活动与近视之间关联的机制。

有研究者通过流行病学调查观察到 Vit D 浓度和近视存在统计学关联,一项涉及 2 038 名 13~18 岁青少年的调查<sup>[38]</sup>结果显示血清 Vit D 浓度和屈光不正存在关联( $\beta = 0.03$ , 95%CI: 0.00~0.06,  $P < 0.05$ ),血清 Vit D 浓度高者不易患 6.00 D 以上的高度近视( $OR = 0.55$ , 95%CI: 0.34~0.90,  $P = 0.02$ )。另一项澳大利亚的横断面调查<sup>[39]</sup>表明近视者血清 Vit D 浓度比非近视者低( $P = 0.003$ )。英国一项 7~15 岁儿童的流行病学研究中<sup>[40]</sup>,户外活动多的儿童总 Vit D 水平高,但是经过调整户外时间后 Vit D 水平未体现出与近视之间的关联,这提示 Vit D 可能仅为户外活动的生物标志物,是否单独参与近视发生的调控机制有待进一步研究。

### 3 睡眠

3.1 流行病学证据 睡眠过程是人体生理调节的重要手段,作息不规律将使包括眼球在内的人体生理系统产生紊乱,可能诱发青少年视力不良。我国在 2014 年对 261 832 名 7~22 岁青少年的调查<sup>[2]</sup>结果支持此推论。研究表明,在 7~12 岁和 13~15 岁两个年龄组中充足的睡眠时间与视力不良呈负相关( $OR = 0.89$ , 95%CI: 0.84~0.96 及  $OR = 0.86$ , 95%CI: 0.80~0.93)。相似的结果在韩国一项横断面研究<sup>[41]</sup>中也有体现,这项涵盖了 3 846 名 12~19 岁青少年的调查结果表明睡眠时长与青少年近视性屈光之间存在负相关。

3.2 睡眠影响视力的机制研究 有研究通过动物实验探索光照条件与眼球生长之间的关联。饲养在 12/12 h 明暗循环正常条件下的实验用鸡表现出眼轴日间增长 0.13 mm,夜间减少 0.04 mm,据此推断在实验室条件下,导致实验用鸡近视主要由于眼睛正常的夜间收缩被抑制<sup>[42]</sup>。在狨猴身上也能观察到类似的生长规律<sup>[43]</sup>,狨猴少年期眼睛日间眼轴增长 25  $\mu\text{m}$  夜间收缩 22  $\mu\text{m}$ ,但是在青年期反转,日间收缩 20  $\mu\text{m}$ ,

夜间增长 38  $\mu\text{m}$ 。由于种属差异,动物实验的结果仅能作为参考依据之一。通过这些动物实验观察到在实验条件下动物眼球的生长发育与其昼夜活动有关,可以为探讨近视环境危险因素提供思路。但是尚不能将此机制外推到人群,因为实验动物和人直接存在种属差异,另外实际生活环境比实验室环境复杂,混杂因素众多,要确定睡眠和近视之间的作用机制尚待进一步研究。

### 4 采光照明

4.1 流行病学证据 我国对学生学习环境光照要求在 300 勒克斯以上,文献报道的我国学校教学环境采光照明条件不容乐观。2011~2014 年我国深圳市宝安区中小学校<sup>[44]</sup>教室采光照明合格率为 16.16%,合格教室与不合格教室中的学生视力不良率分别为 36.16%和 42.43%( $P < 0.01$ ),这表明在采光照明合格的教室中的学生视力不良率较低。2016 年对天津市中小学生视力与教室照明状况的调查<sup>[45]</sup>结果表明,小学课桌面平均照度和班级平均视力间存在正相关( $r = 0.688$ ,  $P < 0.01$ )。

4.2 采光照明影响视力的机制研究 动物实验的结果表明,持续的黑暗和低照度环境导致眼球增大<sup>[46]</sup>,眼轴增长。Norton 等<sup>[47]</sup>研究表明,正常光照环境下(100~300 lux 地面照度,光照时间 14 h:10 h 明暗循环)饲养的正视树鼯,在经过 11 d 暗环境饲养后产生近视。Cohen 等<sup>[48]</sup>对鸡进行 90 d 屈光度观察中发现,当饲养环境照度分为 50、500 和 10 000 lux 时,许多 50 lux 组的鸡视力持续降低,直到 90 d 后产生近视。高光照环境组的动物维持正视。这表明低光照环境可能影响屈光度发展,导致近视。

### 5 电子产品使用

5.1 流行病学证据 近年来智能手机、平板电脑等智能电子产品迅速普及,加上经典的电脑和电视,青少年通过这些渠道学习、娱乐越来越频繁,视屏时间也相应增加。青少年视力与电子产品之间的关系逐渐成为民众关注的热点。

为探索青少年视力不良分布与电子产品使用行为之间的关联,2016 年在天津对 1 404 名小学生的做了相关调查<sup>[49]</sup>。结果表明表现出不同“眼睛距离屏幕的距离”、“暗环境下使用”、“使用时长”行为的小学生在视力不良分布有统计学差异,回归分析表明“三年级以上”、“女性”、“暗环境”、“每日超过 1 h”是小学生视力不良的危险因素( $P < 0.05$ )。同年,在我国台湾



对 2 454 名小学生及家长的调查表明<sup>[50]</sup>, 学生平均每日使用时间 3.5 h, 远远超过美国儿科医学会推荐的不超过 2 h 的时长; 父母使用电子设备的时间较长及家长疏于管教的儿童使用电脑和移动设备的时间更长; 学业表现好、风险认知能力强及父母善于教导的孩子对视力保护的行为更重视。由此可见, 使用时长、使用环境及家长的引导是智能电子设备对儿童青少年视力产生影响的因素, 合理使用电子设备对治疗弱视儿童有良好的效果<sup>[51]</sup>。临床上采用智能电子设备对弱视儿童进行精细目力训练, 基本治愈平均时间和提升一行 LogMAR 视力平均治疗时间均少于对照组 ( $t = 8.57$ ,  $P < 0.05$  和  $t = 10.24$ ,  $P < 0.05$ )。所以如何正确的使用电子设备, 在满足儿童青少年求知和娱乐需求之余不对其视力产生不良影响需要更多的专家学者来进行探索。

**5.2 电子产品使用影响视力的机制研究** 电子产品使用过程中包含多种可能对视力产生不良影响的复合行为<sup>[52]</sup>, 例如持续近距离用眼、在采光照度不足的暗环境下使用等, 另外屏幕剧烈的频闪也可能是近视的危险因素。在天津的调查<sup>[49]</sup>中, 使用手机和平板的青少年视力不良率均高于不使用者 ( $P = 0.006$  及  $P = 0.036$ ); 每日使用手机和平板超过 1 h 的青少年视力不良率分别为 50.6% 和 50.6%, 与时长较短组有统计学差异; 眼睛距离手机和平板屏幕距离超过 30 cm 者视力不良率为 38.9% 和 43.1%, 其中手机视屏距离超过 30 cm 组视力不良率与其他组有统计学差异 ( $P = 0.008$ ); 在暗环境下使用电子产品者视力不良率较高 ( $P = 0.001$ ), 其中包含的近距离用眼、采光照度不足等危险因素前文已作出探讨。另外在动物实验<sup>[53]</sup>中观察到频闪造成实验用鸡的眼轴增长, 特别是红绿频闪。但是电子产品播放视频或运行游戏过程中产生的屏幕亮度和色彩的剧烈变化是否对青少年产生类似的效果, 有待进一步研究。

## 6 流行病学调查中存在的问题及解决途径探讨

目前, 用于视力不良环境危害因素的流行病学研究的数据获取途径基本为问卷调查。关于近距离工作的持续时间、距离定量、户外活动时间、睡眠时间、视屏时间等重要环境因素基本由学生、家长或老师通过主观回忆自行估计并报告, 并非通过仪器设备客观测量获得。问卷调查是经典的流行病学研究方法, 优点在于可操作性强, 但是不可避免的存在相关参数精确定量困难、主观因素影响、回忆偏倚等等局限, 影响研究结果的可信度。另外队列研究中调查对象的丢失、调

查问卷数据不全等等因素均可能对研究结果产生影响。

随着近年来智能手环、智能手表等随身高科技电子设备的发展, 智能设备能够实现依据内置传感器提供的运动轨迹、心率等数据分析判断携带者处于睡眠、静息或者运动状态。这种方式为调查对象睡眠数据的精确测量提供了一种思路。

## 7 展望

根据流行病学和实验室研究表明, 持续近距离工作时长、户外活动时间、睡眠情况及视屏时间等环境因素表现出对青少年视力的影响作用, 但是相关机制尚需要进一步研究, 研究方法也应在科学的基础上寻求创新。

### 参考文献

- [1] Hopf S, Pfeiffer N. Epidemiology of myopia [J]. *Ophthalmologe*, 2017, 114(1):20-23.
- [2] 宋逸, 胡佩瑾, 董彦会, 等. 2014 年全国各省、自治区、直辖市汉族学生视力不良现状分析[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2017, 49(3):433-438.
- [3] June S, Lee J, Kakizaki H, et al. Prevalence of myopia and its association with body stature and educational level in 19-year-old male conscripts in seoul, South Korea[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012, 53(9):5579-5583.
- [4] Ku PW, Steptoe A, Lai YJ, et al. The associations between near visual activity and incident myopia in children: a nationwide 4-year follow-up study[J]. *Ophthalmology*, 2018, 126(2):214-220.
- [5] Virgilio G, Alejandro T, Johana O, et al. Prevalence of refractive errors in Colombia: MOPUR study[J/OL]. *British J Ophthalmol*, 2018, 102(10):1320[2018-6-26]. <http://bjoo.bmj.com/content/102/10/1320>.
- [6] Ip JM, Huynh SC, Robaei D, et al. Ethnic differences in refraction and ocular biometry in a population-based sample of 11-15-year-old Australian children[J]. *Eye (Lond)*, 2008, 22(5):649-656.
- [7] Czepita D, Mojsa A, Zejmo M. Prevalence of myopia and hyperopia among urban and rural schoolchildren in Poland[J]. *Ann Acad Med Stetin*, 2008, 54(1):17-21.
- [8] Zheng YF, Pan CW, Chay J, et al. The economic cost of myopia in adults aged over 40 years in Singapore[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2013, 54(12):7532-7537.
- [9] Fricke TR, Holden BA, Wilson DA, et al. Global cost of correcting vision impairment from uncorrected refractive error [J]. *Bull World Health Organ*, 2012, 90(10):728-738.
- [10] Huang HM, Chang DS, Wu PC. The association between near work activities and myopia in children—a systematic review and meta-analysis[J]. *PLoS One*, 2015, 10(10):e0140419.
- [11] French AN, Morgan IG, Mitchell P, et al. Risk factors for incident myopia in Australian schoolchildren; the Sydney adolescent vascular and eye study[J]. *Ophthalmology*, 2013, 120(10):2100-2108.
- [12] Ip JM, Saw SM, Rose KA, et al. Role of near work in myopia: findings in a sample of Australian school children[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2008, 49(7):2903-2910.
- [13] Ip JM, Rose KA, Morgan IG, et al. Myopia and the urban environment: findings in a sample of 12-year-old Australian school children [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2008, 49(9):3858-3863.
- [14] You QS, Wu LJ, Duan JL, et al. Factors associated with myopia in school children in China: the Beijing childhood eye study[J]. *Plos One*, 2012, 7(12):e52668.

- [15] Gong Y, Zhang X, Tian D, et al. Parental myopia, near work, hours of sleep and myopia in Chinese children[J]. *Health*, 2014, 6(1):64-70.
- [16] Mutti DO, Mitchell GL, Moeschberger ML, et al. Parental myopia, near work, school achievement, and children's refractive error[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2002, 43(12):3633-3640.
- [17] Saw SM, Shankar A, Tan SB, et al. A cohort study of incident myopia in Singaporean children[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2006, 47(5):1839-1844.
- [18] 刘盛鑫, 叶盛, 曹永军, 等. 天津市中小学生学习习惯对视力不良的影响[J]. *中国学校卫生*, 2018, 39(1):9-12.
- [19] Lee YY, Lo CT, Sheu SJ, et al. What factors are associated with myopia in young adults? A survey study in Taiwan Military Conscripts[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2013, 54(2):1026-1033.
- [20] Guo Y, Liu LJ, Xu L, et al. Myopic shift and outdoor activity among primary school children: one-year follow-up study in Beijing[J]. *PLoS One*, 2013, 8(9):e75260.
- [21] McBrien NA, Young TL, Pang CP, et al. Myopia: recent advances in molecular studies; prevalence, progression and risk factors; emmetropization; therapies; optical links; peripheral refraction; sclera and ocular growth; signalling cascades; and animal models[J]. *Optometry Vis Sci*, 2009, 86(1):45-66.
- [22] Wildsoet C, Wallman J. Choroidal and scleral mechanisms of compensation for spectacle lenses in chicks[J]. *Vision Res*, 1995, 35(9):1175-1194.
- [23] Hung LF, Wallman J, Smith EL. Vision-dependent changes in the choroidal thickness of macaque monkeys[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2000, 41(6):1259-1269.
- [24] Troilo D, Nickla DL, Wildsoet CF. Choroidal thickness changes during altered eye growth and refractive state in a primate[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2000, 41(6):1249-1258.
- [25] Winawer J, Wallman J. Temporal constraints on lens compensation in chicks[J]. *Vision Res*, 2002, 42(24):2651-2668.
- [26] Goss DA, Wickham MG. Retinal-image mediated ocular growth as a mechanism for juvenile onset myopia and for emmetropization. A literature review[J]. *Doc Ophthalmol*, 1995, 90(4):341-375.
- [27] Zadnik K, Mutti DO. How applicable are animal myopia models to human juvenile onset myopia? [J]. *Vision Res*, 1995, 35(9):1283-1288.
- [28] Sherwin JC, Reacher MH, Keogh RH, et al. The association between time spent outdoors and myopia in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis[J]. *Ophthalmology*, 2012, 119(10):2141-2151.
- [29] Jones-jordan LA, Mitchell GL, Cotter SA, et al. Visual activity before and after the onset of juvenile myopia[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011, 52(3):1841-1850.
- [30] Guggenheim JA, Northstone K, McMahon G, et al. Time outdoors and physical activity as predictors of incident myopia in childhood: a prospective cohort study[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012, 53(6):2856-2865.
- [31] Dirani M, Tong L, Gazzard G, et al. Outdoor activity and myopia in Singapore teenage children[J]. *British J Ophthalmol*, 2009, 93(8):997.
- [32] He M, Xiang F, Zeng Y, et al. Effect of time spent outdoors at school on the development of myopia among children in China: a randomized clinical trial[J]. *J Am Med Assoc*, 2015, 314(11):1142-1148.
- [33] Ngo CS, Pan CW, Finkelstein EA, et al. A cluster randomised controlled trial evaluating an incentive-based outdoor physical activity programme to increase outdoor time and prevent myopia in children[J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2014, 34(3):362-368.
- [34] Rose KA, Morgan IG, Ip J, et al. Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children[J]. *Ophthalmology*, 2008, 115(8):1279-1285.
- [35] Cohen Y, Peleg E, Belkin M, et al. Ambient illuminance, retinal dopamine release and refractive development in chicks[J]. *Exp Eye Res*, 2012, 103(4):33-40.
- [36] Smith EL, Hung LF, Huang J. Protective effects of high ambient lighting on the development of form-deprivation myopia in rhesus monkeys[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012, 53(1):421-428.
- [37] Ashby RS, Schaeffel F. The effect of bright light on lens compensation in chicks[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2010, 51(10):5247-5253.
- [38] Choi JA, Han K, Park YM, et al. Low serum 25-hydroxyvitamin D is associated with myopia in Korean adolescents[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2014, 55(4):2041-2047.
- [39] Yazar S, Hewitt AW, Black LJ, et al. Myopia is associated with lower vitamin D status in young adults[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2014, 55(7):4552-4559.
- [40] Guggenheim JA, Williams C, Northstone K, et al. Does vitamin D mediate the protective effects of time outdoors on myopia? Findings from a prospective birth cohort[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2014, 55(12):8550-8558.
- [41] Jee D, Morgan IG, Kim EC. Inverse relationship between sleep duration and myopia[J]. *Acta Ophthalmol*, 2016, 94(3):204-210.
- [42] Weiss S, Schaeffel F. Diurnal growth rhythms in the chicken eye: relation to myopia development and retinal dopamine levels[J]. *J Comp Physiol A*, 1993, 172(3):263-270.
- [43] 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[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2002, 43(8):2519-2528.
- [44] 陈荣凯, 江海棠, 毕嘉琦, 等. 2011-2014 年深圳市宝安区中小学校教室采光照明与学生视力不良的关系[J]. *预防医学论坛*, 2016, 22(2):131-133, 136.
- [45] 叶盛, 刘盛鑫, 曹永军, 等. 天津市中小学校教室照明现状与学生视力的相关性[J]. *中国学校卫生*, 2018, 39(1):13-15.
- [46] Lauber JK, Shutze JMJ. Effects of exposure to continuous light on the eye of the growing chick[J]. *Proc Soc Exp Biol Med*, 1961, 106(4):871-872.
- [47] Norton TT, Amedo AO, Siegwart JT. Darkness causes myopia in visually experienced tree shrews[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2006, 47(11):4700-4707.
- [48] Cohen Y, Belkin M, Yehzekel O, et al. Dependency between light intensity and refractive development under light-dark cycles[J]. *Exp Eye Res*, 2011, 92(1):40-46.
- [49] 董晓鹏, 刘盛鑫, 王奇凡, 等. 天津市小学生使用电子产品对视力不良的影响[J]. *中国学校卫生*, 2018, 39(1):16-18, 22.
- [50] CHang FC, Chiu CH, Chen PH, et al. Computer/mobile device screen time of children and their eye care behavior: the roles of risk perception and parenting[J]. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*, 2018, 21(3):179-186.
- [51] 董泽红, 赵炜, 任玉凤, 等. 智能手机和平板电脑对儿童远视性弱视的治疗作用[J]. *国际眼科杂志*, 2017, 17(11):2180-2182.
- [52] 王赞, 湛丁艳, 熊华威, 等. 我国青少年近视影响因素与防治措施研究[J]. *实用预防医学*, 2016, 23(3):380-381.
- [53] Rucker FJ, Wallman J. Chicks use changes in luminance and chromatic contrast as indicators of the sign of defocus[J]. *J Vis*, 2012, 12(6):123-129.