

· 综 述 ·

光照条件对视觉心理的影响

刘臻臻¹ 黄修城¹ 陈少藩² 马国书² 综述 林浩添¹ 黄翔宇² 审校¹中山大学中山眼科中心 眼科学国家重点实验室,广州 510060;²广东省护眼台灯工程技术研究开发中心 广东光阳电器有限公司,中山 528415

刘臻臻、黄修城、陈少藩对本文有同等贡献

通信作者:林浩添,Email:haot.lin@hotmail.com

【摘要】 光照条件参数包括持续时间、光照强度、色温等,这些条件的不同组合可在视觉心理层面对人类造成不同影响,并与心理疾病的发生或防治相关。光照时间的延长、昼夜节律的相位改变会增加双相情感障碍的发病风险;日间、夜间或全天光照强度的改变均会对心理产生影响,其中夜间暴露于光线增加抑郁症风险;另外,光的色温改变也会对警觉性、情绪等心理特征产生影响。本文就不同光照条件对视觉心理的影响进行综述。

【关键词】 视觉心理;光照时间;光照强度;色温;昼夜节律;双相情感障碍;抑郁症

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(81873675、81770967);中山大学高校基本业务费重大项目培育和新兴交叉学科项目(16ykjc28)

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.07.016

Influences of illumination conditions on visual psychologyLiu Zhenzhen¹, Huang Xiucheng¹, Chen Shaofan², Ma Guoshu², Lin Haotian¹, Huang Xiangyu²¹State Key Laboratory of Ophthalmology, Zhongshan Ophthalmic Center, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510060, China; ²Guangdong Eye-Protection Desk Lamp Engineering Technology Research and Development Center, Guangdong Guangyang Electric Co., Ltd., Zhongshan 528415, China

Liu Zhenzhen, Huang Xiucheng and Chen Shaofan are contributed equally to the article

Corresponding author: Lin Haotian, Email: haot.lin@hotmail.com

【Abstract】 The parameters of illumination conditions include duration, illumination intensity, color temperature and so on. Different combinations of these conditions have different effects on human beings at the visual and psychological level and are related to occurrence or prevention of psychological diseases. Extension of illumination time and phase change of circadian rhythm increase the risk of bipolar disorder; changes in daytime, night or all-day illumination intensity have psychological effects, especially exposure to light at night increases risk of depression; in addition, changes in color temperature of light also have psychological effects. This paper reviewed the effects of different illumination conditions on visual psychology.

【Key words】 Visual psychology; Illumination duration; Illumination intensity; Color temperature; Circadian rhythm; Bipolar disorder; Depression

Fund program: National Natural Science Foundation of China (81873675, 81770967); Fundamental Research Funds for the Central Universities (16ykjc28)

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.07.016

照明对生物体起着重要作用。不同的照明条件对人类视觉功能、生理节律和心理反应均有不同程度的影响。全球爆发的青少年近视、日趋低龄化的老视以及与日照相关的季节性情绪失调和自杀等^[1-4]。照明对生物体产生的影响随持续时间、照明强度和色温等参数的变化而变化。人类对照明条件的需求受环境、生理和心理的影响。生理上,不同年龄对照明亮度的要求不一样。年龄越大,晶状体透光性变差,要求有较高的照度^[5]。视觉心理上,不同照明条件通过视觉器官引起不同的心理生理反应^[6]。罹患眼部疾病或其他全身疾病时,患者更

加需要个性化的照明条件,以改善视觉心理上的舒适度,促进健康。改善照明条件是从视觉心理上治疗的重要手段。本文就不同照明条件对于人类视觉心理健康的影响进行综述,探讨利于视觉健康的照明条件。

1 光照持续时间对视觉心理的影响**1.1 昼夜节律对情绪的影响**

昼夜节律指生命活动以24 h为周期的变动。地球具有约24 h的光照/黑暗周期。对于这种有规律的变化,生物体根据一

天中的组织代谢和细胞周期,分配相应的时间(如修复机制在休息阶段最活跃),以避免不兼容的生物化学反应同时运行。昼夜节律参与调节各种情绪,其异常被认为是双相情感障碍的发病基础^[7]。双向情感障碍是一种以情感的异常高涨或低落为特征的精神障碍性疾病,兼有躁狂状态和抑郁状态,可交替、反复发作,也可以一种状态为主反复复发,具有周期性和可缓解性。人为改变睡眠周期(如睡眠剥夺)具有抗抑郁作用,但能够促使躁狂发作;停止睡眠剥夺则抑郁症状复发^[8]。

1.2 光照持续时间对昼夜节律的影响

发育早期所在的特定光照条件对个体昼夜节律系统会产生印记;环境发生变化时,原有昼夜节律被打破,产生紊乱,而这种紊乱会对心理产生多种影响,如睡眠剥夺可引起警觉性、情绪等变化^[9]。光照持续时间是对昼夜节律系统产生印记的重要因素,发育早期中过长时间的光照可能破坏正在发育的昼夜节律^[10-11]。然而发育早期中的最佳光照持续时间还未确定。

灵长类动物在发育早期阶段即可对外界光线的变化做出反应^[12]。最早能够发挥功能的光感受器是含视黑质的视网膜神经节细胞,其感知环境光线并参与视觉和非视觉反应,如瞳孔对光反射和昼夜节律的形成、改变^[13]。胎龄 30~35 周的早产儿即可检测到瞳孔对光反射^[12-13]。1~3 月龄婴儿以 24 h 为周期组织生理和行为活动,其激素分泌、睡眠、运动、体温调节等昼夜节律系统逐渐成熟^[14-15]。此外,与持续照明的早产儿比较,暴露于循环照明的早产儿 5~11 周龄时惊厥和哭闹行为减少,一昼夜内的运动活性更高,且体质量更大,但睡眠时长并无显著差异^[16]。

一项针对成人的研究发现,较长时间的光照能引起昼夜节律的相位延迟^[17]。持续光照 6.5 h(昏暗光照 3 d,照度仅为 100 lx)导致昼夜节律的相移约为短时暴露于 10 000 lx 的 50%,表明长时间的适度光照(或短时强光暴露)可以导致昼夜节律的显著变化^[18]。此外,Dewan 等^[19]在一项睡眠障碍光疗法的研究中对一组健康受试者进行 2 000、4 000 或 8 000 lx,持续 1、2 或 3 h 照射随机组合,结果发现较长时间的中等强度光比较短时间的高强度光更有效,提示光照时间和光照强度共同参与调控昼夜节律。研究表明,较长时间的光照可抑制褪黑激素的分泌,进而影响昼夜节律^[17]。研究表明,与 2 h 明亮光照(8 000~10 000 lx)比较,4 h 明亮光照更能降低夜间的嗜睡程度^[20]。

在光照持续时间相同的前提下,持续性光照和间歇性光照作用相近。Burgess 等^[21]研究发现,3.5 h 连续强光照射使昼夜节律相移 2.1 h,而间歇性强光照射(交替 0.5 h 和 0.5 h 关闭,循环 3.5 h)使昼夜节律相移 1.5 h,二者比较差异无统计学意义。Gronfier 等^[22]研究发现,间歇性明亮光脉冲(15 min 开启,60 min 关闭,循环 6.5 h)与使受试者暴露于 6.5 h 连续强光(9 500 lx)比较,差异无统计学意义。

1.3 光照持续时间对双相情感障碍的影响

双相情感障碍发病年龄与遗传等多种因素密切相关^[23]。除遗传因素外,发病年龄的广泛变异性和青春期后的发病高峰均表明非遗传因素可能有相当大的影响^[24]。非遗传因素中阳光提供温暖,刺激视觉,以昼夜节律影响人类生理和行为,与双

相情感障碍关系密切^[25-26]。

研究表明,在生命最初的前 3 个月,平均每个月日照时间与双相情感障碍发病年龄呈显著正相关,平均每个月日照增加 1 h,发病年龄增加约 2.5 个月^[27]。值得注意的是,其光照时长范围尚待进一步研究。

此外,双相情感障碍的发病与季节和地理因素相关^[3-4]。精神分裂症也有类似表现:发病年龄与纬度之间存在线性相关——越接近赤道,个体发病年龄越小^[28]。研究表明,太阳辐射量(可反映日照时间)最大月增量与发病年龄间呈负相关,最大月增量每增加 0.1 kW·h/(m²·d),发病年龄减小 0.486 2 岁或约 6 个月。对于无双向情感障碍家族史的人群,这种差异会缩至 0.255 2 年或约 3 个月^[29]。最大月增加量的百分比增长(放大了北半球冬季较低的太阳辐射量的影响)与发病年龄无显著相关性,这提示我们光照发挥作用的方式更依赖于具体的光照时间,而不是其变化程度^[30]。

日照持续时间与双相情感障碍发病的相关证据:波长 470 nm 的光对褪黑素的急性抑制阈值为 0.7~2.7 μW/cm²^[31],而蓝光(波长 400~500 nm)是太阳辐射重要的组成部分。脑内 5-羟色胺和 5-羟色胺转运体的结合体浓度存在季节性变化,而 5-羟色胺的产生与光照有关^[32]。自杀与日光持续时间增加有关,这可能涉及血清素、代谢和免疫系统等的季节性变化^[33-35]。自杀的季节性变化研究显示,太阳辐射波动幅度较大的国家(如北欧等)表现出春季发病高峰,而赤道附近无高峰^[36]。部分抑郁症患者视网膜对光反应异常^[37]。

以昼夜节律解释日照持续时间对双相情感障碍的影响的原因:双相情感障碍患者可能出现褪黑素分泌异常的情况^[38]。光捕获后可进一步传输到昼夜节律系统^[26]。双相情感障碍患者的昼夜节律异常(即睡眠/觉醒周期)的改变与双相情感障碍的发作密切相关^[39]。部分双相情感障碍患者携带导致昼夜节律障碍的基因^[40]。

2 光照强度对视觉心理的影响

2.1 全日照强度对视觉心理的影响

光照强度的改变会对心理产生影响。光照强度在一定程度上可增强对心理的积极影响,如增强食欲、改善情绪与睡眠等。光照强度常被用来治疗季节性情感障碍等心理疾病,或缓解囊性纤维化(cystic fibrosis, CF)等身心疾病引起的抑郁等^[41-43]。但光照的增强也会带来一定的消极影响,如光照强度的增强(4 100 K, 1 000 lx)可改善阿尔兹海默病(Alzheimer disease, AD)患者的睡眠情况和认知能力,但却对患者注意力产生负面影响^[44-45]。

此外,光照强度改变还可影响人对不同情绪面孔的识别能力。研究表明,急性苯丙氨酸/酪氨酸诱导的多巴胺降低可增强受试者(女性,季节性情绪失调患者,暴露于 10 lx,持续 24 h)的悲伤面孔识别能力;将光照增至 3 000 lx 后,这种悲伤面孔识别能力的增强被取消,可见光照强度改变可对不同情绪的面孔识别能力产生影响^[46]。

光照刺激引起的变化并不会立即消失,会对光照后的事件

产生影响,如在学习前光照强度的增加(300 lx, 30 min)显著增强了记忆力^[47]。在光照刺激完成后,关闭灯光,光诱导的大脑活动迅速消失,但大脑活动受到影响的确切持续时间根据皮层区域而定,如白天暴露于短波长光线后,认知区域受到的影响会持续约 5 min^[48-49]。

2.2 夜间光照强度对抑郁症的影响

夜间光线会对心理、生理和行为产生强烈的干扰^[50]。研究表明,夜间光线与老年人群抑郁症风险的增加相关,即使暴露于 5 lx 的夜间光照也会显著增加抑郁风险^[51-52]。增加夜间光线强度会增加抑郁风险,如 10 lx 相对 5 lx 更能增加抑郁风险,但夜间光线与抑郁症风险间并无显著剂量-反应关联趋势^[51]。

3 色温对视觉心理的影响

颜色分为冷色(如蓝色、绿色和紫色)和暖色(如红色、橙色和黄色)^[53]。低色温对应暖色,高色温对应冷色,色温改变可对心理产生影响,如情绪、警觉性、食欲和睡眠等。

色温可对警觉性产生影响。在暖色(红色和黄色)下,额叶和颞叶高 β 波(25 ~ 30 Hz)的大脑活动高于冷色(蓝色和绿色)、白色和黑色;在暖色(红色和黄色)下, β 波(12 ~ 25 Hz)的振幅不对称性低于冷色(蓝色和绿色)、白色和黑色,但暖色、冷色下均有降低^[54]。高 β 波常提示神经系统调节能力不良,因此冷色(蓝色、绿色)比暖色(红色和黄色)更能提高受试者的警觉性,这也与其他的 research 结果一致^[55]。研究发现,红光对警觉性的增强弱于蓝光,但相对于蓝光,红光会增强以细节为导向的视觉任务表现^[56]。蓝光等冷色光可在带有“预期奖励”的情况下增强前扣带回皮层(anterior cingulate cortex, ACC)的激活,这可能是由于去甲肾上腺素的增加,导致多巴胺“奖励预测误差”信号的有效性增加所引起^[57]。

色温可对睡眠产生影响。色温通过影响睡眠周期的持续时间对心理产生影响。蓝光暴露后睡眠期间的慢波活动(slow-wave activity, SWA)在第 1 次和第 3 次非快速眼动期(non-rapid eye movement, NREM)中的观测值较无暴露组低,而这种现象在顶叶和枕叶脑电图中最为明显。蓝光(波长 460 nm)照射后的快速眼动期(rapid eye movement, REM)睡眠持续时间在第 1 次睡眠周期中显著短于绿光(波长 550 nm)照射组,而在第 3 次睡眠周期中显著短于黑暗组(0 lx)^[58]。色温可对睡眠周期的持续时间和脑电波活动强度产生影响(不影响睡眠结构和睡眠时的能量代谢),从而在翌日早晨引发嗜睡(能量代谢也受抑制)^[59]。

色温可对情绪产生影响,如暖色(红色和黄色)显著增加了愤怒和混乱,而冷色(蓝色和绿色)、白色和黑色对情绪无影响,绿色(绿色>蓝色>白色>黑色>黄色>红色)使人活力更强^[54]。

色温可通过影响情绪,继而影响食欲、食量、食物偏好和进食后感受。受试者在黄光下的食欲最强,在蓝光下最弱,但在黄色、白色和蓝色 3 种照明情况下,食物的整体风味和受试者对食物的整体印象无显著差异^[60]。关于色温对进食后感受的影响研究表明,与白色和黄色汤相比,蓝色汤显著降低了食物的适口性、愉悦性和温暖等级,但显著增加了焦虑感。蓝色汤得到较低的饱腹感与全身热感评分,而食用黄色汤后的体温较

食用白色、蓝色汤后的体温有显著提高^[61]。研究表明,在蓝光下与暗光下(<20 lx)相比,其瘦素、生长素释放肽、皮质醇分泌和主观饥饿差异均无统计学意义^[62],因此色温影响食欲主要是通过通过对情绪等心理方面的作用。

色温对心理可产生影响,因此光疗法中需要考虑色温的影响。研究表明,蓝光治疗可改善季节性情感障碍人群的抑郁症状,且效果优于红光治疗^[63]。另外,光照效应可能与受试者状态相关,如蓝色与绿色波长光的短时间(40 s)交替暴露可增强颞叶皮层和海马的激活^[64]。与健康对照组比较,这种交替光暴露于季节性情绪失调患者的下丘脑中产生更强烈的激活^[65]。

除单一的颜色会对心理产生影响外,其他因素,如色彩平衡与色觉偏好等也会对心理产生影响。研究发现色彩平衡的改变(如红色和蓝色的组成不同)会在无意识情况下(无受试者注意到视频刺激的颜色改变)引发额叶脑电图的变化,额叶与情绪变化相关,可见色彩平衡对情绪可产生影响^[66]。此外,人存在的色觉偏好(试验中偏好蓝色、绿色和红色的分别占 50%、40% 和 10%)也有可能对心理产生影响^[67]。

4 小结

不同照明条件对于视觉心理的影响的研究已有较大进展,但仍存在很多问题亟待解决,如照明的频闪对视觉心理的影响和生命早期的最适光照条件等(表 1)。随着研究的深入,不同照明条件对视觉心理的影响将更加明朗,对于光疗法的研究与应用具有极其重要的指导意义。

表 1 光照条件对心理影响的研究结论

光照时间	光照持续时间对动物昼夜节律的影响	(1)光照时间增长可降低夜间的嗜睡程度并改善表现 ^[20] (2)长时间的适度光照可能导致昼夜节律显著变化 ^[18] (3)早期暴露于光线下会对个体的昼夜节律系统产生印记,当环境发生变化时,原有的昼夜节律会被打破而产生紊乱 ^[9]
光照强度	光照强度对双相情感障碍的影响	(1)在生命的前 3 个月,平均每月日光小时数与发病年龄呈显著正相关,平均每月日光小时数每增加 1 h,发病年龄增加约 2.5 个月 ^[27] (2)太阳辐射量每月大幅增加与双相型障碍发作风险增加相关 ^[7]
光照强度	日间光照强度的变化对心理的影响	(1)明亮光照可以逆转患有季节性情感障碍的个体在情绪、睡眠、食欲和社交功能方面遭受的损害,使情绪正常化并增强愉悦感 ^[42] (2)学习前光照(300 lx, 30 min)显著增强记忆力 ^[47] (3)光强增加(4 100 K, 1 000 lx)可改善季节性情绪失调患者睡眠情况和认知能力 ^[44] ,却对患者注意力产生负面影响 ^[45]

续表

夜间光照强度 的变化 对抑郁 症的影 响	(1)光照后光诱导的大脑活动迅速消失 ^[48] ,但光诱导的警觉性增强不会立即消散 ^[45] (2)暴露于 5 lx 的夜间光照会增加抑郁风险 ^[52] (3)增加夜间光线光照强度会增加抑郁症风险,但夜间光线与抑郁风险之间无显著剂量-反应趋势 ^[51]
色温	警觉性 (1)蓝光等冷色光较红光等暖色光更能增加受试者警觉性 ^[55] (2)相对于蓝色,红光会增强以细节为导向的视觉任务的性能 ^[56] (3)短暂暴露于光线下可增强丘脑、额叶及顶叶活动 ^[48,55]
情绪	(1)受试者在暖色(红色和黄色)光照下比在白色,冷色(蓝色,绿色)和黑色光照下的愤怒程度更高 ^[54] (2)绿色(绿色>蓝色>白色>黑色>黄色>红色)使人活力更强 ^[54]
睡眠	傍晚暴露于低强度蓝光,不影响睡眠结构和睡眠时的能量代谢,但在翌日早晨引发困倦和能量代谢抑制 ^[59]
食欲	(1)蓝色照明可减少男性进食量,不会降低对食物的接受度 ^[60] (2)与白色和黄色汤相比,蓝色汤显著降低食物的适口性、愉悦性和温暖等级,且显著增加焦虑情绪;食用黄汤后受试者体温显著高于白汤和蓝汤 ^[61]

利益冲突 本研究所有作者均不存在利益冲突

参考文献

- He M, Xiang F, Zeng Y, et al. Effect of time spent outdoors at school on the development of myopia among children in China[J]. JAMA, 2015, 314(11): 1142-1147. DOI:10.1001/jama.2015.10803.
- Donaldson PJ, Grey AC, Maceo HB, et al. The physiological optics of the lens[J]. Prog Retin Eye Res, 2017, 56: 1-24. DOI:10.1016/j.pretyeres.2016.09.002.
- Lambert G, Reid C, Kaye D, et al. Increased suicide rate in the middle-aged and its association with hours of sunlight[J]. Am J Psychiatry, 2003, 160(4): 793-795. DOI:10.1176/appi.ajp.160.4.793.
- Bauer M, Glenn T, Grof P, et al. Relationship among latitude, climate, season and self-reported mood in bipolar disorder[J]. J Affect Disord, 2009, 116(1-2): 152-157. DOI:10.1016/j.jad.2008.11.013.
- Liu YC, Wilkins M, Kim PT, et al. Cataracts[J]. Lancet, 2017, 390(10094): 600-612. DOI:10.1016/S0140-6736(17)30544-5.
- Tomassoni R, Galetta G, Treglia E. Psychology of light; how light influences the health and psyche psychology, 2015, 6(10): 1216-1222. DOI:10.4236/psych.2015.610119.
- Forni D, Pozzoli U, Cagliani R. Genetic adaptation of the human circadian clock to day-length latitudinal variations and relevance for affective disorders[J]. Genome Biol, 2014, 15(10): 499-507. DOI:10.1186/s13059-014-0499-7.
- McClung CA. How might circadian rhythms control mood? Let me count the ways[J]. Biological Psychiatry, 2013, 74(4): 242-249. DOI:10.1016/j.biopsych.2013.02.019.
- Ciarleglio CM, Axley JC, Strauss BR, et al. Perinatal photoperiod imprints the circadian clock[J]. Nature neuroscience, 2011, 14(1): 25-30. DOI:10.1038/nn.2699.
- Harrison Y. The relationship between daytime exposure to light and night-time sleep in 6-12-week-old infants[J]. J Sleep Res, 2004, 13(4): 345-352. DOI:10.1111/j.1365-2869.2004.00435.x.
- Ohta H, Mitchell AC, McMahon DG. Constant light disrupts the developing mouse biological clock[J]. Pediatric Res, 2006, 60(3): 304-310. DOI:10.1203/01.pdr.0000233114.18403.66.
- Watanabe S, Akiyama S, Hanita T, et al. Designing artificial environments for preterm infants based on circadian studies on pregnant uterus[J]. Frontiers Endocrinol, 2013, 4: 113-121. DOI:10.3389/fendo.2013.00113.
- Robinson J, Fielder AR. Pupillary diameter and reaction to light in preterm neonates[J]. Arch Dis Child, 1990, 65(1): 35-38. DOI:10.1136/adc.65.1.spec.no.35.
- Glottbach SF, Edgar DM, Boedicker M, et al. Biological rhythmicity in normal infants during the first 3 months of life[J]. Pediatrics, 1994, 94(4): 482-488.
- McGraw K, Hoffmann R, Harker C, et al. The development of circadian rhythms in a human infant[J]. Sleep, 1999, 22(3): 303-310. DOI:10.1093/sleep/22.3.303.
- Guyot C, Huber R, Fontijn J, et al. Cycled light exposure reduces fussing and crying in very preterm infants[J]. Pediatrics, 2012, 130(1): 145-151. DOI:10.1542/peds.2011-2671.
- Moreno CR, Vasconcelos S, Marquize EC, et al. Sleep patterns in Amazon rubber tappers with and without electric light at home[J]. Sci Rep, 2015, 5: 14074-14079. DOI:10.1038/srep14074.
- Zeitler JM, Dijk DJ, Kronauer R, et al. Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression[J]. J Physiol, 2000, 526(3): 695-702. DOI:10.1111/j.1469-7793.2000.00695.x.
- Dewan K, Benloucif S, Reid K, et al. Light-induced changes of the circadian clock of humans: increasing duration is more effective than increasing light intensity[J]. Sleep, 2011, 34(5): 593-599. DOI:10.1093/sleep/34.5.593.
- Thessing VC, Anch AM, Muehlbach MJ, et al. Two-and 4-hour bright-light exposures differentially affect sleepiness and performance the subsequent night[J]. Sleep, 1994, 17(2): 140-145. DOI:10.1093/sleep/17.2.140.
- Burgess HJ, Crowley SJ, Gazda CJ, et al. Preflight adjustment to eastward travel: 3 days of advancing sleep with and without morning bright light[J]. J Bio Rhyth, 2003, 18(4): 318-328. DOI:10.1177/0748730403253585.
- Gronfier C, Wright KP Jr, Kronauer RE, et al. Efficacy of a single sequence of intermittent bright light pulses for delaying circadian phase in humans[J]. Am J Physiol Endocrinol Metab, 2004, 287(1): 174-181. DOI:10.1152/ajpendo.00385.2003.
- Wang L, Chen J, Li Z, et al. Association study of NDST3 gene for schizophrenia, bipolar disorder, major depressive disorder in the Han Chinese population[J]. Am J Med Genet B Neuropsychiatr Genet, 2018, 177(1): 3-9. DOI:10.1002/ajmg.b.32573.
- Parent AS, Teilmann G, Juul A, et al. The timing of normal puberty and the age limits of sexual precocity: variations around the world, secular trends, and changes after migration[J]. Endo Rev, 2003, 24(5): 668-693. DOI:10.1210/er.2002-0019.
- Berson DM. Strange vision: ganglion cells as circadian photoreceptors[J]. Trends Neurosci, 2003, 26(6): 314-320. DOI:10.1016/S0166-2236(03)00130-9.
- Hatori M, Panda S. The emerging roles of melanopsin in behavioral adaptation to light[J]. Trends Mole Med, 2010, 16(10): 435-446. DOI:10.1016/j.molmed.2010.07.005.
- Bauer M, Glenn T, Alda M, et al. Influence of light exposure during early life on the age of onset of bipolar disorder[J]. J Psychiatr Res, 2015, 64: 1-8. DOI:10.1016/j.jpsychires.2015.03.013.
- Shaner A, Miller G, Mintz J. Evidence of a latitudinal gradient in the age at onset of schizophrenia[J]. Schizophrenia Res, 2007, 94(1): 58-63. DOI:10.1016/j.schres.2007.04.001.

- [29] Bauer M, Glenn T, Alda M, et al. Relationship between sunlight and the age of onset of bipolar disorder: an international multisite study [J]. *J Affect Dis*, 2014, 167 : 104–111. DOI: 10. 1016/j. jad. 2014. 05. 032.
- [30] Bauer M, Glenn T, Alda M, et al. Impact of sunlight on the age of onset of bipolar disorder [J]. *Bip Dis*, 2012, 14 (6) : 654–663. DOI: 10. 1111/j. 1399-5618. 2012. 01025. x.
- [31] Figueiro MG, Lesniak NZ, Rea MS. Implications of controlled short-wavelength light exposure for sleep in older adults [J]. *BMC Res Notes*, 2011, 4 (1) : 334–339. DOI: 10. 1186/1756-0500-4-334.
- [32] Lambert GW, Reid C, Kaye DM, et al. Effect of sunlight and season on serotonin turnover in the brain [J]. *Lancet*, 2002, 360 (9348) : 1840–1842.
- [33] Cabrera R, Filevich O, García-Acosta B, et al. A visible-light-sensitive caged serotonin [J]. *ACS Chem Neurosci*, 2017, 8 (5) : 1036–1042. DOI: 10. 1021/acschemneuro. 7b00083.
- [34] Gaspar L, van de Werken M, Johansson AS, et al. Human cellular differences in cAMP—CREB signaling correlate with light-dependent melatonin suppression and bipolar disorder [J]. *Eur J Neurosci*, 2014, 40 (1) : 2206–2215. DOI: 10. 1111/ejn. 12602.
- [35] Leong C, Bigliardi PL, Sriram G, et al. Physiological doses of red light induce IL-4 release in cocultures between human keratinocytes and immune cells [J]. *Photochem Photobiol*, 2018, 94 (1) : 150–157. DOI: 10. 1111/php. 12817.
- [36] Chew KS, McCleary R. The spring peak in suicides: a cross-national analysis [J]. *Social Sci Med*, 1995, 40 (2) : 223–230.
- [37] Fountoulakis KN. Retinal response anomalies in patients with mental illness and high risk relatives [J]. *Biol Psychiatry*, 2010, 68 (2) : 3–7. DOI: 10. 1016/j. bio psych. 2010. 02. 024.
- [38] Bumb JM, Enning F, Mueller JK, et al. Differential melatonin alterations in cerebrospinal fluid and serum of patients with major depressive disorder and bipolar disorder [J]. *Compr Psychiatry*, 2016, 68 : 34–39. DOI: 10. 1016/j. compsy. 2016. 03. 005.
- [39] Melo MCA, Abreu RLC, Linhares VB, et al. Chronotype and circadian rhythm in bipolar disorder: a systematic review [J]. *Sleep Med Rev*, 2017, 34 : 46–58. DOI: 10. 1016/j. smrv. 2016. 06. 007.
- [40] Gonzalez R, Gonzalez S, Villa E. Identification of circadian gene variants in bipolar disorder in Latino populations [J]. *J Affect Dis*, 2015, 186 : 367–75. DOI: 10. 1016/j. jad. 2015. 07. 014.
- [41] Ruger M, Gordijn MC, Beersma DG, et al. Time-of-day-dependent effects of bright light exposure on human psychophysiology: comparison of daytime and nighttime exposure [J]. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2006, 290 (5) : 1413–1420. DOI: 10. 1152/ajpregu. 00121. 2005.
- [42] Aan HRM, Benkelfat C, Boivin DB, et al. Bright light exposure during acute tryptophan depletion prevents a lowering of mood in mildly seasonal women [J]. *Eur Neuropsychopharmacol*, 2008, 18 (1) : 14–23. DOI: 10. 1016/j. euroneuro. 2007. 05. 003.
- [43] Kopp BT, Hayes D Jr, Ghera P, et al. Pilot trial of light therapy for depression in hospitalized patients with cystic fibrosis [J]. *J Affect Dis*, 2016, 189 : 164–168. DOI: 10. 1016/j. jad. 2015. 08. 056.
- [44] Riemersma RF, Swaab DF, Twisk J, et al. Effect of bright light and melatonin on cognitive and noncognitive function in elderly residents of group care facilities: a randomized controlled trial [J]. *JAMA*, 2008, 299 (22) : 2642–2655. DOI: 10. 1001/jama. 299. 22. 2642.
- [45] Leichtfried V, Mair-Raggautz M, Schaeffer V, et al. Intense illumination in the morning hours improved mood and alertness but not mental performance [J]. *App Ergono*, 2015, 46 : 54–59. DOI: 10. 1016/j. apergo. 2014. 07. 001.
- [46] Cawley E, Tippler M, Coupland NJ, et al. Dopamine and light: effects on facial emotion recognition [J]. *J Psychopharmacol*, 2017, 31 (9) : 1225–1233. DOI: 10. 1177/0269881117711707.
- [47] Shan LL, Guo H, Song NN, et al. Light exposure before learning improves memory consolidation at night [J]. *Sci Rep*, 2015, 5 : 15578–15582. DOI: 10. 1038/srep15578.
- [48] Vandewalle G, Baeteau E, Phillips C, et al. Daytime light exposure dynamically enhances brain responses [J]. *Curr Biol*, 2006, 16 (16) : 1616–1621. DOI: 10. 1016/j. cub. 2006. 06. 031.
- [49] Okamoto Y, Nakagawa S. Effects of daytime light exposure on cognitive brain activity as measured by the ERP P300 [J]. *Physiol Behav*, 2015, 138 : 313–318. DOI: 10. 1016/j. physbeh. 2014. 10. 013.
- [50] Fonken LK, Nelson RJ. The effects of light at night on circadian clocks and metabolism [J]. *Endocr Rev*, 2014, 35 (4) : 648–670. DOI: 10. 1210/er. 2013-1051.
- [51] Obayashi K, Saeki K, Kurumatani N. Bedroom light exposure at night and the incidence of depressive symptoms: a longitudinal study of the HEIJO-KYO cohort [J]. *Am J Epidemiol*, 2018, 187 (3) : 427–434. DOI: 10. 1093/aje/kwx290.
- [52] Bedrosian TA, Weil ZM, Nelson RJ. Chronic dim light at night provokes reversible depression-like phenotype: possible role for TNF [J]. *Mol Psychiatry*, 2013, 18 (8) : 930–936. DOI: 10. 1038/mp. 2012. 96.
- [53] Jalil NA, Yunus RM, Said NS. Environmental colour impact upon human behaviour: a review [J]. *Procedia-Social Behav Sci*, 2012, 35 : 54–62. DOI: 10. 1016/j. sbspro. 2012. 02. 062.
- [54] Sroykham W, Wongsathikun J, Wongsawat Y. The effects of perceiving color in living environment on QEEG, oxygen saturation, pulse rate, and emotion regulation in humans [J]. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2014, 2014 : 6226–6229. DOI: 10. 1109/EMBC. 2014. 6945051.
- [55] Rahman SA, Hilaire MA, Lockley SW. The effects of spectral tuning of evening ambient light on melatonin suppression, alertness and sleep [J]. *Physiol Behav*, 2017, 177 : 221–229. DOI: 10. 1016/j. physbeh. 2017. 05. 002.
- [56] Sahin L, Wood BM, Plitnick B, et al. Daytime light exposure: Effects on biomarkers, measures of alertness, and performance [J]. *Behav Brain Res*, 2014, 274 : 176–185. DOI: 10. 1016/j. bbr. 2014. 08. 017.
- [57] Alkozei A, Smith R, Killgore WD. Exposure to blue wavelength light modulates anterior cingulate cortex activation in response to ‘uncertain’ versus ‘certain’ anticipation of positive stimuli [J]. *Neurosci Lett*, 2016, 616 : 5–10. DOI: 10. 1016/j. neulet. 2016. 01. 034.
- [58] Münch M, Kobialka S, Steiner R, et al. Wavelength-dependent effects of evening light exposure on sleep architecture and sleep EEG power density in men [J]. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2006, 290 (5) : 1421–1428. DOI: 10. 1152/ajpregu. 00478. 2005.
- [59] Kayaba M, Iwayama K, Ogata H, et al. The effect of nocturnal blue light exposure from light-emitting diodes on wakefulness and energy metabolism the following morning [J]. *Environ Health Prev Med*, 2014, 19 (5) : 354–359. DOI: 10. 1007/s12199-014-0402-x.
- [60] Cho S, Han A, Taylor MH, et al. Blue lighting decreases the amount of food consumed in men, but not in women [J]. *Appetite*, 2015, 85 : 111–117. DOI: 10. 1016/j. appet. 2014. 11. 020.
- [61] Suzuki M, Kimura R, Kido Y, et al. Color of hot soup modulates postprandial satiety, thermal sensation, and body temperature in young women [J]. *Appetite*, 2017, 114 : 209–216. DOI: 10. 1016/j. appet. 2017. 03. 041.
- [62] Cheung IN, Zee PC, Shalman D, et al. Morning and evening blue-enriched light exposure alters metabolic function in normal weight adults [J/OL]. *PLoS One*, 2016, 11 (5) : e0155601 [2018-12-23]. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0155601>. DOI: 10. 1371/journal.pone.0155601.
- [63] Glickman G, Byrne B, Pineda C, et al. Light therapy for seasonal affective disorder with blue narrow-band light-emitting diodes (LEDs) [J]. *Bio Psychiatry*, 2006, 59 (6) : 502–507. DOI: 10. 1016/j. biopsych. 2005. 07. 006.
- [64] Vandewalle G, Schwartz S, Grandjean D, et al. Spectral quality of light modulates emotional brain responses in humans [J]. *Proceed Nation Acad Sci*, 2010, 107 (45) : 19549–19554. DOI: 10. 1073/pnas. 1010180107.
- [65] Vandewalle G, Hébert M, Beaulieu C, et al. Abnormal hypothalamic response to light in seasonal affective disorder [J]. *Biological Psychiatry*, 2011, 70 (10) : 954–961. DOI: 10. 1016/j. biopsych. 2011. 06. 022.
- [66] Khoroshikh VV, Ivanova VY, Kulikov GA. The effect of unconscious color hue saturation on the emotional state of humans [J]. *Human Physiology*, 2012, 38 (2) : 129–136.
- [67] Rajae-Joorens RJ, Hanique I. The effects of colored light on valence and arousal [J]. *Springer*, 2010 : 65–84. DOI: 10. 1007/978-90-481-3258-4_5.

(收稿日期: 2019-04-05 修回日期: 2019-06-01)

(本文编辑: 杜娟)