

文章编号: 1000-7032(2013)08-1061-05

不同波长蓝光 LED 对人体光生物节律效应的影响

鲁玉红¹, 王毓蓉², 金尚忠^{1*}, 曾珊珊¹, 邵茂丰¹

(1. 中国计量学院 光学与电子科技学院, 浙江 杭州 310018;

2. 中国船舶重工集团第 701 研究所, 湖北 宜昌 443003)

摘要: 以 30 名视力正常的学生为研究对象, 采用剂量作业法、生理参数法和疲劳评价法研究了人体在峰值波长分别为 468、457、453 nm 的蓝光 LED 照明下的光生物节律效应。结果表明: 在剂量作业法中, 蓝光 LED 对错误率、工作速度和脑力工作指数的影响均为 453 nm < 457 nm < 468 nm; 在生理参数法中, 468 nm 蓝光 LED 对脉搏的变化影响最大, 对收缩/舒张压的影响不明显; 在疲劳评价法中, 蓝光 LED 对人体舒适度的影响为 453 nm < 457 nm < 468 nm。综上所述, 在 3 种峰值波长蓝光中, 468 nm 的蓝光对人体光生物节律影响最大。

关键词: 光生物节律效应; 蓝光 LED; 剂量作业; 生理参数; 疲劳评价

中图分类号: TN383+.1

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fgxb20133408.1061

Influence of Different Wavelength Blue LED on Human Optical Biorhythm Effect

LU Yu-hong¹, WANG Yu-rong², JIN Shang-zhong^{1*}, ZENG Shan-shan¹, SHAO Mao-feng¹

(1. Department of Optical and Electronic Technology, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China;

2. No. 701 Research Institute, CSIC, Yichang 443003, China)

* Corresponding Author, E-mail: jinsz@cjl.u.edu.cn

Abstract: Human have different sensitivity under different wavelengths of light. By using dose work method, physiological parameter method and fatigue evaluation method, the human optical biorhythm effect of 30 students with normal vision was studied under the blue LED, whose peak wavelengths are 468, 457, and 453 nm. In the dose work method, the influence of blue LED on the error rate, speed of work, and the brainwork efficiency is: 453 nm < 457 nm < 468 nm. In physiological parameter method, 468 nm blue LED has the greatest impact on the changes of pulse, and insignificant on systolic/diastolic blood pressure. In fatigue evaluation method, effect of blue LED on human comfort is: 453 nm < 457 nm < 468 nm. In conclusion, 468 nm blue LED has great influence on human optical biological rhythm.

Key words: optical biorhythm effect; blue LED; dose work; physiological parameter; fatigue evaluation

收稿日期: 2013-05-07; 修订日期: 2013-06-18

基金项目: 浙江省半导体照明重点科技创新团队(2010R50020); 国家科技支撑计划(2011BAF06B02-1)资助项目

作者简介: 鲁玉红(1989-), 女, 浙江绍兴人, 主要从事 LED 照明及光谱分析仪器的研究。

E-mail: 15158106322@163.com, Tel: (0571) 86914581

1 引 言

2002 年,美国布朗大学 Berson 等^[1]发现人眼视网膜第三类感光细胞(ipRGC)可以将信号传递给大脑的生物钟调节器——视交叉上核(SCN),从而帮助人类调节生理节律和其他生物效应。这类感光细胞能参与调解许多人体光生物效应,包括人体生命体征的变化(血压、脉搏、血氧、体温等)、激素的分泌、人体的警觉性和兴奋程度等。2005 年,YasuKouchi 等研究发现,来自于视网膜的光信号传输至大脑皮层时有视觉通路和非视觉通路,一条是由传统红锥、蓝锥、绿锥和视杆细胞负责的视觉感光系统,将接收到的信号传递给大脑皮层,形成影像视觉通路;另一条是由 ipRGC 接受光信号后传递到大脑的下丘脑视交叉上核(SCN)控制人体某些激素分泌的下丘脑的松果体,实现生理节律的调节和激素控制^[2]。目前已知的受光生物节律效应影响的有两种激素:褪黑激素及皮质醇。褪黑激素是睡眠激素,它在血液中的含量增加会使人疲倦、嗜睡;含量减少会使人精神、兴奋。而皮质醇是压力激素,它能为人提供能量,使人注意力集中,增强免疫力;但皮质醇长期处于过高水平时,人会感到疲劳从而降低效率。人体受光照影响分泌褪黑激素和皮质醇,使其交替控制人体的工作和睡眠周期。

随着第三类感光细胞的发现和 LED 照明光源的发展,光与健康、安全、舒适之间的关系越来越受到重视。瑞士 Basel 大学的 Cajochen 等^[3]的研究表明,波长 460 nm 的光能使人体体温升高,照射 1.5 h 以后能引起人体心率加快;而波长 550 nm 的光对人体体温和心率没有多大影响。Tsutsumi 等^[4]在卧室和起居室安装不同色温的荧光灯,在不同的时间段照射人眼。结果表明:6 700 K 的光源对于心率变异性和血压的影响要明显高于 3 000 K 和 5 000 K 的荧光灯。同济大学林丹丹等^[5]对学生在不同照度、色温荧光灯环境下的视疲劳程度、主观评价、工作绩效进行了对比研究。结果表明:对于阅读和书写等要求较高的视觉作业,高色温的光源更受欢迎;在照度大于 500 lx 的环境下,被试者的视觉作业的效率较高,视觉感受较好。重庆大学的严永红^[6]就教室荧光灯色温对学生学习效率和生理节律效应的影响进

行了研究。结果表明:中等色温荧光灯在恰当的时间内可对学生产生适量的良性刺激,对大脑起到“唤醒”或“放松”的作用,达到提高学习效率、缓解视/脑疲劳的效果;而且不同色温的荧光灯光源,其最佳照度值并不相同。重庆大学的黄海静博士通过教室照明环境主观心理感受评价、视觉作业绩效实验和生理反应指数分析,研究了不同色温人工光源照明条件对学生的视觉环境心理和生理的影响。结果表明:在 4 000 K 荧光灯下视觉作业时,学生感觉最舒适、轻松,生理指数变化率最小^[7]。复旦大学的林燕丹^[8]从照明的视觉效应和生物学效应的角度,分析了适当的蓝光照明对在低照度环境下提高照明效率和减缓操作者疲劳的作用,提出在某些工厂、医院、军用操作室等区域的照明应适当使用含有蓝光成分或较高色温光源的建议。Juslen 等^[9]对工作环境的照明度对人的生产率的影响进行了研究,结果表明,在可控的工作照明系统下允许人们选择高照明水平,测试团队的生产力比对照组增长了 4.5%。S. Lehl 等^[10]的研究表明,蓝光与普通光照相比,更能提高警觉性和信息传递速度。上述研究表明,光对人体除了视觉作用之外,还存在生物节律作用。对于不同照明条件下光对人的生物节律效应的评价模型主要有 3 种:基于褪黑激素抑制作用的模型、基于瞳孔尺寸大小变化的模型和基于生理参数测量和视亮度评价的模型。它们的光生物节律效应相应的最大响应值分别为 465, 491, 497, 530 nm。可见光对人的最大生物敏感度位于光谱的蓝绿色区域。

本文通过剂量作业测定、生理参数变化和疲劳评价,研究了峰值波长分别为 468, 457, 453 nm 的蓝光对人体生物效应的影响。

2 实 验

2.1 实验条件及对象

实验中选用峰值波长分别为 468, 457, 453 nm 的 3 种均匀排布 288 颗灯珠的相同型号 T8LED 日光灯作为实验光环境。图 1 为 3 种 LED 光源的光谱图,带宽分别是 23, 21, 24 nm。使用房间面积为 31.2 m²,高为 3 m,实验工作台离地 0.75 m,LED 日光灯离房间顶部 0.75 m,离桌面 1.5 m。

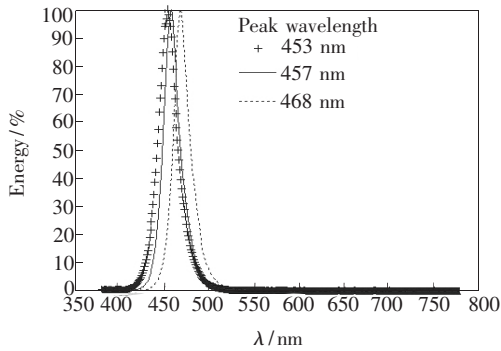


图 1 实验中 3 种 LED 光源的光谱图

Fig. 1 The spectra of the three LED light source in the experiment

所有实验均在晚上 19:00 开始进行,这一时间段的选择有利于完全排除天然光的影响,且可保证各受试人每次实验均处在相近的生理节律周期中。共有 30 名年龄 19~24 岁、双眼矫正视力 5.0 以上、身体健康的被试者参与实验。每位被试者在实验前均先进行充分练习,直到可以熟练地掌握判断实验方法后开始正式实验。同时,为了避免不同波长蓝光 LED 条件下每次实验受试人所坐位置不同对实验数据有影响,实验中受试者所坐位置均保持不变。

2.2 实验方法

(1) 视觉工作效率: 采用剂量作业测定法进行测试,使用安菲莫夫表、数字校对表、郎道尔环核对表进行综合评定,完成作业的数量越多,产生错误越少,则视觉工作效率越高。工作速度(个/min) = 阅读数/2,错误率(%) = (错字数 + 漏字数)/(阅字数) × 100%,脑力工作能力指数(IMC) = (阅字数/2) × (应删数 - 错删数)/应删数。

(2) 生理参数测试法: 使用手腕式自动血压仪 PG-800A3 对受试者作业前后的舒张压和收缩

压以及脉搏进行测量,得到各项生理参数的变化率。生理参数变化率 = (作业前后生理参数变化值/作业前的生理参数) × 100%。

(3) 疲劳评价法: 采用日本产业卫生学会产业疲劳研究会制订的《疲劳症状自评量表(2002)》对在蓝光下进行作业后的受试者进行困倦感、情绪不安感、不快感、怠倦感、视觉疲劳感 5 种因子进行实验评价。

2.3 实验过程

在不同波长蓝光下实验时,先用手腕式自动血压仪测量每个被试者的血压、脉搏生理指标,然后在 8 min 内(每 1 种视觉作业测试 2 min,间隔 1 min,完成 3 种视觉作业共需 8 min)进行视觉工作效率实验,视觉作业完成后立即在原座位上对每位被试者再测量其血压、脉搏生理指数,然后对被试者进行《疲劳症状自评量表》测评。30 名被试者测试结束后,更换另一种峰值波长的 LED 照明光源,第二天晚上 19:00 继续同一实验。

3 结果与讨论

3.1 视觉工作效率

对所有被试者完成的各项视觉作业错误率、工作速度、脑力工作能力指数(IMC)的数据取平均值,结果如表 1 所示。

3 种峰值波长蓝光下,学生完成各项视觉作业错误率、工作速度、脑力工作能力指数(IMC)的比较如图 2、图 3、图 4 所示。从图 2、图 3、图 4 可以看出,在峰值波长为 468 nm 的蓝光下,各项视觉作业中的错误率相对较低,工作速度最快,脑力工作能力指数最高;在峰值波长为 453 nm 的蓝光下,各项视觉作业中的错误率相对较高,工作速度最慢,脑力工作能力指数最低。

表 1 视觉工作效率结果

Table 1 Visual work efficiency results

LED 波长/ nm	安菲莫夫表			数字校对表		郎道尔环核对表		
	错误率/%	工作速度/ (个·min ⁻¹)	IMC	错误率/ %	工作速度/ (个·min ⁻¹)	错误率/ %	工作速度/ (个·min ⁻¹)	IMC
453	0.003	391.338	355.620	0.013	25.118	0.007	217.544	211.480
457	0.002	440.403	390.809	0.002	27.710	0.007	217.544	211.480
468	0.002	452.953	403.026	0.008	28.000	0.007	239.516	233.116

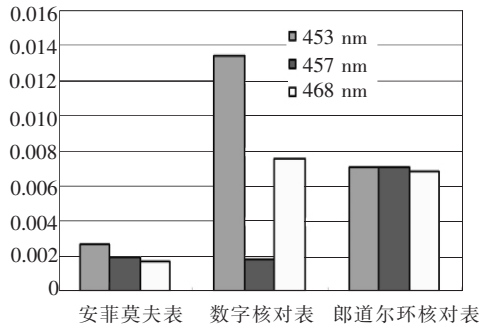


图 2 3 种峰值波长蓝光下各项视觉作业的误差率比较
Fig. 2 The visual task error rate comparison under three peak wavelength blue light

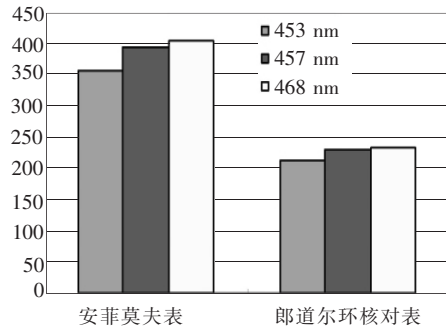


图 4 3 种峰值波长蓝光下两项视觉作业脑力工作指数比较
Fig. 4 The visual brainwork efficiency comparison under three peak wavelength blue light

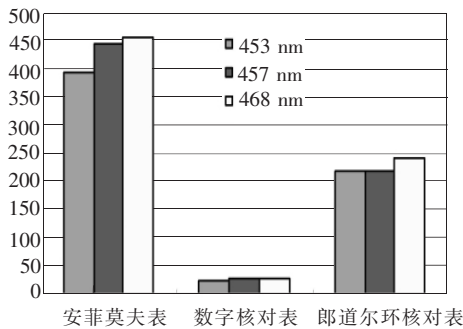


图 3 3 种峰值波长蓝光下各项视觉作业工作速度比较 (单位: 个/min)
Fig. 3 The visual task working speed comparison under three peak wavelength blue light

3.2 生理参数测试

对所有实验数据求平均值,得到 3 种峰值波长蓝光下,视觉作业前后的生理参数变化平均值及变化率,如表 2 和图 5 所示。从图 5 可以看出,在峰值波长为 468 nm 的蓝光下,完成视觉作业前后的脉搏的平均变化率最大;在峰值波长为 453 nm 的蓝光下,完成视觉作业前后的高压、低压的平均变化率最大;在峰值波长为 457 nm 的蓝光下,完成视觉作业前后的各项生理参数变化处于中间。从本实验中生理参数变化的角度分析,峰值波长为 457 nm 的蓝光对人的光生物效应影响最小。

表 2 视觉作业前后生理参数的变化

Table 2 Physiological parameters changes before and after the visual task

峰值波长/ nm	舒张压变化/ mmHg	收缩压变化/ mmHg	脉搏变化/ (次·min ⁻¹)	舒张压变化率/ %	收缩压变化率/ %	脉搏变化率/ %
453	-2.789	-1.842	-1.684	-0.022	-0.022	-0.018
457	-0.500	-1.375	-1.563	0.000	-0.012	-0.015
468	0.765	-0.294	-2.882	0.014	0.002	-0.027

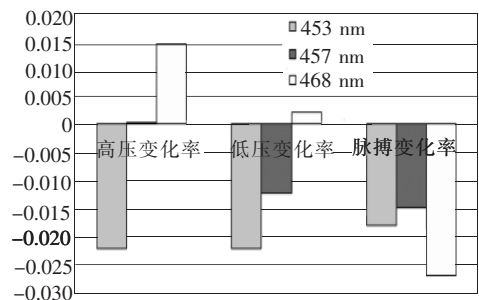


图 5 3 种峰值波长蓝光下视觉作业前后的生理参数平均变化率比较
Fig. 5 The average change rate comparison of the physiological parameters before and after the visual task under three peak wavelength blue light

3.3 疲劳评价

对 30 名参与实验的被试者进行《疲劳症状自评量表(2002)》评价,然后对每个人对应的 5 项因子分别求和并取平均值,得到 3 种峰值波长蓝光下各项疲劳因子的比较,如图 6 所示。

从图 6 中可以看出,在峰值波长为 468 nm 的蓝光下完成视觉作业以后,被试者的 5 项因子值最低;在峰值波长为 453 nm 的蓝光下完成视觉作业以后,被试者的 5 项因子值基本最高;在峰值波长为 457 nm 的蓝光下完成视觉作业以后,被试者的 5 项因子值基本处于中间值。因此,从本实验

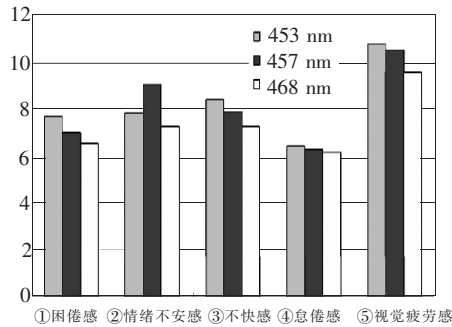


图6 3种峰值波长蓝光下各项疲劳因子的比较

Fig.6 Comparison of the fatigue factors under three peak wavelength blue light

生理参数变化的角度分析,相对于其他波长的蓝光,在峰值波长为468 nm的蓝光下,被试者工作

最舒适轻松,不易感到疲劳。

4 结 论

采用剂量作业测定法、生理参数测试法和疲劳评价法研究了峰值波长分别为468,457,453 nm的窄带波长蓝光对人体光生物效应的影响。实验结果表明:人在峰值波长为468 nm的蓝光下,脑力工作能力指数(IMC)最高,工作速度最快,工作最舒适,不易感到疲劳。但生理参数测定结果表明,人在峰值波长为468 nm的蓝光下脉搏变化率最大。所以,不同峰值波长蓝光与人的生物效应之间的关系仍需进一步研究,需要更多的理论依据和实验数据来解释说明。

参 考 文 献:

- [1] Berson D M, Dunn F A, Takao M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock [J]. *Science*, 2002, 295(5557): 1070-1073.
- [2] Yasukouchi A, Ishibashi K. Non-visual effects of the color temperature of fluorescent lamps on physiological aspects in humans [J]. *J. Physiol. Anthropol. Appl. Human Sci.*, 2005, 24(1): 41-43.
- [3] Cajochen C, Münch M, Kobiacka S, et al. High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light [J]. *J. Clin. Endocr. Metab.*, 2005, 90(3): 1311-1316.
- [4] Tsutsumi Y, Kitamura S, Kozaki T, et al. Effects of color temperature of lighting in the living room and bedroom at night on autonomic nerve activity [J]. *J. Physiol. Anthropol. Appl. Human Sci.*, 2002, 21(6): 318-318.
- [5] Lin D D, Hao L X. Experimental research on relationship between vision health and luminous environment for the primary and middle school students [J]. *Chin. Illumin. Eng. J.* (照明工程学报), 2007, 18(4): 38-42 (in Chinese).
- [6] Yan Y H, Guan Y, Liu X D, et al. Productivity and physiological response of students subjected to fluorescent lamps with different colour temperatures and luminance level [J]. *J. Civil, Architecture & Environmental Engineering* (土木建筑与环境工程), 2010, 32(4): 85-88 (in Chinese).
- [7] Huang H J. Study on The Classroom Lighting in University on Circopic [D]. Chongqing: Chongqing University, 2010 (in Chinese).
- [8] Lin Y D, Chen W C, Chen D H, et al. Discuss the influence of a long time the visual task under blue lighting [J]. *China Illumination* (中国照明), 2007(3): 43-45 (in Chinese).
- [9] Juslén H, Wouters M, Tenner A. The influence of controllable task-lighting on productivity: A field study in a factory [J]. *Appl. Ergon.*, 2007, 38(1): 39-44.
- [10] Lehl S, Gerstmeyer K, Jacob J H, et al. Blue light improves cognitive performance [J]. *J. Neural Transm.*, 2007, 114(4): 457-460.