

分类号 密级
UDC 编号

学校代码: 10277
学 号: 2021920013



上海體育大學

硕士学位论文

高强度环境光照对大学生情绪状态的影响及其生理特征 The influence of high intensity ambient light on emotion state of college students and its physiological characteristics

院 系: 心理学院 (系)

专 业: 心理学

姓 名: 王彩卉

指 导 教 师: 贺岭峰 教授

递 交 日 期: 2024 年 6 月 21 日

学位授予单位: 上海体育大学

摘 要

本研究基于短时光照的非视觉功效和詹姆斯兰格情绪外周理论,以心率变异性和大脑皮层晚期正电位为生理指标,通过实验法和问卷法相结合的方式,探究了不同照度的环境光照、不同时光的光照时间对心率变异性和大脑皮层晚期正电位的影响,结合被试的自我报告,进一步证实了高照度的环境光照对情绪状态的改善作用。

实验 1 以普通大学生为研究对象,共招募 150 名无情绪障碍的大学生作为被试,120 名为接受强光照射的实验组,30 人为对照组,实验组采用随机分配的方法分为 3 组,每组 40 人。采用 5×4 混合实验设计,组内变量为光照时间(光照前,15min、30min、45min、60min),组间变量为环境光照强度(低照度、2000lx、4000lx、6000lx);因变量为心率变异性、PANAS 情绪量表得分、SAS、SDS 自评量表得分。结果发现,1)接受强光照射一段时间后,实验组被试的心率变异性不仅相较于光照前显著提高,而且也显著高于对照组;2)照度相对较低(2000lx)的时候,实验组被试的心率变异性需要较长的光照时间才能出现显著提高,照度越高,心率变异性提高的速度越快、变化越大,但离散性也随之变大;3)光照时间达到 30 分钟时,所有高照度环境光照条件下的被试心率变异性均开始呈现显著提高,光照时间达到 60 分钟时,6000lx 照度实验组的被试心率变异性呈现出降低的趋势;4)接受 60 分钟的强光照射后,被试的正性情绪得分较光照前显著提高,负性情绪、焦虑和抑郁得分较光照前显著降低,这说明高照度的环境光照对大学生的情绪状态有良好的改善作用。

实验 2 通过在线发放 SAS、SDS 自评量表的方式,筛选出量表得分高于 45 分的被试共 72 人,随机分配到光照强度不同的三组(2000lx、4000lx、6000lx)中,每组 24 人。采用 2×3 混合实验设计,基于实验 1 中发现的光照时间可能存在一定的边界效应,设置组内变量为光照时间(30 分钟、60 分钟),组间变量为光照强度(2000lx、4000lx、6000lx);因变量为 LPP 振幅、SAS、SDS 自评量表得分。结果发现,1)强光照射可以显著提高全脑 LPP 平均振幅,在时间方面,60 分钟的光照时间比 30 分钟的光照时间引起的 LPP 振幅更大;在照度方面,照

度为 4000lx 时 LPP 平均振幅显著高于其它照度条件，在中央顶区及前额皮层的差异显著；2) SAS、SDS 情绪量表得分在光照前后差异显著，光照后焦虑、抑郁情绪得到显著改善。

总的来说，1) 一段时间的强光照射可以显著提高心率变异性，提高自主神经系统的活性；2) 强光照射可以提高大脑皮层晚期正电位的振幅，其空间迁移特点是从后向前，在中央-前额区域差异显著；3) 接受 1h 的晨间强光照射能够显著改善情绪状态，增加正性情绪体验，减少焦虑、抑郁情绪。

关键词：环境光照，心率变异性，晚期正电位，大学生情绪

Abstract

Based on the non-visual efficacy of short-term light and James Langer's emotional peripheral theory, this study took heart rate variability and late cerebral cortex positive potential as physiological indicators, and explored the effects of environmental light with different illumination and different duration on heart rate variability and late cerebral cortex positive potential by combining experimental method and questionnaire method. Combined with the self-report of the subjects, it further confirmed the improvement effect of high illumination on emotional state.

In Experiment 1, a total of 150 college students without mood disorders were recruited as subjects, 120 were the experimental group receiving strong light irradiation, and 30 were the control group, and the experimental group was divided into 3 groups with 40 people in each group by random assignment. The 5×4 mixed experimental design was adopted, and the variables within the group were the light time (before illumination, 15 min, 30 min, 45 min, 60 min), and the variables between groups were the ambient light intensity (low illumination, 2000lx, 4000lx, 6000lx). The dependent variables were heart rate variability, PANAS mood scale score, SAS, SDS self-rating scale score. The results showed that: 1) After receiving strong light exposure for a period of time, the heart rate variability of the experimental group was not only significantly higher than that before the light, but also significantly higher than that of the control group; 2) When the illumination is relatively low (2000lx), the heart rate variability of the subjects in the experimental group needs a longer light time to significantly increase, and the higher the illumination, the faster and greater the change of heart rate variability, but the discreteness also increases. 3) When the illumination time reached 30 minutes, the heart rate variability of the subjects under all high-illumination ambient light conditions began to increase significantly, and when the illumination time reached 60 minutes, the heart rate variability of the subjects in the 6000lx illumination experimental group showed a decreasing trend. 4) After receiving

60 minutes of strong light exposure, the positive mood scores of the subjects were significantly higher than those before the light, and the scores of negative emotions, anxiety and depression were significantly lower than those before the light, indicating that the high-illumination ambient light had a good effect on the emotional state of college students.

In Experiment 2, a total of 72 subjects with scores higher than 45 points were screened out through online distribution of SAS and SDS self-assessment scales, and they were randomly assigned to three groups (2000lx, 4000lx, 6000lx) with different light intensities, with 24 people in each group. Using the 2×3 mixed experimental design, based on the possible boundary effect of the light time found in experiment 1, the intra-group variables were set as the illumination time (30 minutes, 60 minutes), and the inter-group variables were the light intensity (2000lx, 4000lx, 6000lx). The dependent variables were LPP amplitude, SAS, and SDS self-rating scale scores. The results showed that: 1) Intense light irradiation could significantly increase the average amplitude of LPP in the whole brain, and in terms of time, the amplitude of LPP caused by 60 minutes of light time was greater than that caused by 30 minutes of light time. In terms of illumination, the average amplitude of LPP at 4000lx was significantly higher than that of other illumination conditions, and the difference between the central parietal region and the prefrontal cortex was significant. 2) The scores of SAS and SDS mood scales were significantly different before and after light, and anxiety and depression were significantly improved after light.

In general, 1) a period of intense light exposure can significantly increase heart rate variability and autonomic nervous system activity; 2) Strong light irradiation can increase the amplitude of the late positive potential of the cerebral cortex, and its spatial migration is from the back to the front, with significant differences in the central-frontal region; 3) Receiving 1h morning light exposure can significantly improve emotional state, increase positive emotional experience, and reduce anxiety and depression.

Key Words: Ambient light, Heart rate variability, Late positive potential college students' mood

目 录

引言.....	1
1 文献综述.....	3
1.1 情绪.....	3
1.1.1 情绪的定义.....	3
1.1.2 大学生情绪问题.....	3
1.2 环境光照.....	4
1.2.1 环境光照影响情绪的生理基础.....	4
1.2.2 环境光照与情绪的关系.....	5
1.3 心率变异性.....	7
1.3.1 心率变异性的定义.....	7
1.3.2 心率变异性与情绪的关系.....	8
1.4 晚期正电位与情绪变化的关系	9
2 问题提出.....	10
2.1 问题提出.....	10
2.2 研究假设.....	10
2.3 研究意义.....	11
2.3.1 理论意义.....	11
2.3.2 现实意义.....	11
3 实验 1：高强度环境光照对心率变异性 and 情绪状态的影响	13
3.1 实验目的.....	13
3.2 实验方法.....	13
3.2.1 实验设计.....	13
3.2.2 实验设备及材料.....	13
3.2.3 实验流程.....	14
3.3 实验结果.....	15
3.3.1 对心率变异性指标进行重复测量方差分析	15
3.3.2 对实验组和对照组前后两次情绪量表的结果进行配对样本 t 检验	22
3.4 实验讨论.....	23
3.4.1 高照度的环境光照对心率变异性的影响	23
3.4.2 光照时间在环境光照对心率变异性影响中的作用	24
3.4.3 高照度的环境光照对情绪的影响.....	24
4 实验 2：高强度环境光照对晚期正电位和情绪状态的影响	26
4.1 实验目的.....	26

4.2 实验方法.....	26
4.2.1 实验设计.....	26
4.2.2 实验设备及材料.....	26
4.2.3 实验流程.....	27
4.3 实验结果.....	27
4.3.1 脑电数据预处理.....	27
4.3.2 LPP 成分分析.....	27
4.3.3 情绪量表配对样本 t 检验	30
4.4 实验讨论.....	30
4.4.1 高强度环境光照对处理情绪刺激时 LPP 振幅的影响	30
4.4.2 LPP 振幅变化与情绪状态的关系.....	31
5 总讨论.....	32
5.1 高强度环境光照对心率变异性和晚期正电位的影响	32
5.2 高强度环境光照对大学生情绪状态的影响	33
6 结论与展望.....	34
6.1 研究结论.....	34
6.2 研究局限与展望.....	34
6.2.1 研究局限.....	34
6.2.2 展望.....	35
参考文献.....	36
附录.....	44

图表目录

图 3.1	HRV-SDNN 方差分析结果	15
图 3.2	HRV-RMSSD 方差分析结果	16
图 3.3	PNN50 方差分析结果	17
图 3.4	HRV-LF 方差分析结果	19
图 3.5	HRV-HF 方差分析结果	20
图 4.1	三种光照强度下中央前额 LPP 平均波形图	26
图 4.2	三种光照强度下 LPP 平均地形图及差异	27
表 3.1	心率变异性时域指标的描述统计表	18
表 3.2	心率变异性频域指标的描述统计表	21
表 3.3	对照组前后两次情绪量表得分的配对样本 t 检验结果	21
表 3.4	实验组前后两次情绪量表得分的配对样本 t 检验结果	21
表 3.5	2000lx 实验组前后两次情绪量表得分的配对样本 t 检验结果	22
表 3.6	4000lx 实验组前后两次情绪量表得分的配对样本 t 检验结果	22
表 3.7	6000lx 实验组前后两次情绪量表得分的配对样本 t 检验结果	22
表 4.1	LPP 成分描述性统计表	26
表 4.2	光照前后情绪量表得分的配对样本 t 检验结果	27

引言

近年来,随着焦虑和抑郁症状在大学生群体中的检出率逐年上升,这已经成为了大学生最为常见的心理问题,尤其是过去三年受到新冠肺炎疫情的影响,大学生群体中焦虑、抑郁情绪的产生比例较之前有了明显上升,国家卫生健康委在 2020 年 9 月也已经将抑郁症筛查纳入了高等院校学生入学健康体检的内容之中,将情绪状态评估纳入了各类体检中心的项目中,这说明大家越来越能够关注到情绪尤其是负性情绪对身心健康的影响,并且迫切地需要寻找能够有效改善情绪问题的办法,从而提高大学生乃至全社会的心理健康水平。

以往了解大学生情绪状态时常用的方法主要有被试自我报告、问卷调查、面部表情和语言分析、肢体行为判断等,这些方法有着简单、直观、高效的特点,但是如果被试的报告标准不同或者刻意隐瞒,在判断时就会出现偏差甚至错误。因此为了更准确地判断个体当下的情绪状态,越来越多的研究者倾向于选择将生理信号作为重要的判断指标,情绪的变化不是孤立发生的,而是身心和环境相互作用的结果,根据詹姆斯-兰格的情绪理论,情绪就是我们身体对特定情境的反应方式的标签,生理变化的出现要先于我们对情绪的感受,而且几乎无法隐藏和改变,因此将生理信号作为识别情绪和监测其变化的指标更为准确和真实^[1]。只要人体存在生命活动过程,那么细胞就会产生电信号,因此当人体所处的环境发生变化时,接受到刺激的感官和神经系统就会产生对应的电信号变化^[2],包括心电、脑电、肌电信号在内的生物电数据是当前非常具有探究和应用价值的人体生理数据。

环境光照不仅是一种重要的昼夜节律调节信号,而且能够调节机体的生命体征、生物节律和激素分泌,同时视网膜上的内在光敏感性神经节细胞(Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells, ipRGCs)能将光照信号直接传递到内侧杏仁核和外侧缰核这两个能够调节情绪的细胞核^[3]。大量研究证实,环境光照已经被证实能够直接影响情绪并且效果是可以即时被观测到的,尤其是对边缘脑区的影响是其调节情绪的重要机制,在光照发生变化时,杏仁核和海马、扣带回皮层、前额叶皮层等边缘脑区的神经活动都会发生显著变化,短

时强光照射会增强前额叶皮层主导的自上而下的情绪调节^[4]。

将改善环境光照作为调整负性情绪的办法已经具备了坚实的理论基础和丰富的脑成像证据，但以往研究多以情绪障碍患者为研究对象，他们的负性情绪表征较明显，对于大学生群体来说，多数只是存在一定的焦虑、抑郁情绪，并没有发展成心理疾病。影响情绪的环境既包括人际环境也包括物理环境，人际环境是一个较为复杂且存在明显个体差异的交互系统，改变起来存在很大的难度且需要个体主动做出一些认知和行为的转变，而物理环境是每个人较为固定的客观生存环境，改变起来具有较强的可操作性和标准化流程，尤其是物理环境中无处不在的环境光照，对每个人的身心变化有着不可小觑的影响，但却经常被人们忽视。

本研究将采用采用晨间短时强光照射的方法，以心率变异性（Heart rate variability, HRV）和事件相关电位（Event-Related Potentials, ERPs）中的晚期正电位（Late Positive Potential, LPP）作为主要观察指标，结合 PANAS 情绪量表、焦虑自评量表（SAS）、抑郁自评量表（SDS），对被试的情绪状态进行综合判断并观测其干预前后的变化。

1 文献综述

1.1 情绪

1.1.1 情绪的定义

情绪是指个体对客观存在的内部主观体验，以及相应的行为反应，是一种临时整合生理、认知、现象学和行为的通道，通过对外部刺激事件产生普遍性和功能性的反应，以便于个体在当前情境中做出强适应性和环境塑造性的改变。当代情绪模型理论整合了以往情绪理论的要点，指出个体对某件事情的评估会引发相应的情绪反应，这些反应包括生理唤醒、主观体验、行为反应和姿态行为等。

1.1.2 大学生情绪问题

大学时期是多数年轻人成长的关键时期，大学生要在完成学习任务的同时兼顾人际交往和自我提升，并且还要面临着巨大的就业压力和适应新的社会环境的压力，因此较容易产生心理矛盾和冲突，长时间的困扰导致心情低落就会让大学生成为罹患抑郁症和焦虑症的高危群体。长期处于抑郁和焦虑等负性情绪中的人，大脑的神经活动功能会明显受限，调节能力变差，而且持续的负性情绪也会对大学生的身体健康产生消极影响，导致其生理平衡失调，同时伴随着免疫功能下降引起的各种身体疾病，处在焦虑情绪中的人通常会感受到内心紧张不安、心神不定、注意力不集中，处在抑郁情绪中的人则会感觉到情绪低落、孤独无助、痛苦，同时焦虑和抑郁也都会伴随着一定程度的身体表现，如失眠、头痛、食欲不振、胸闷气短等症状。一项对 2009-2019 年全国大学生抑郁症患病率的 meta 分析结果显示，近十年来大学生群体的抑郁症患病率始终较高且呈现出逐年升高的趋势，到 2020 年大学生抑郁症检出率已经达到 24.71%^[5]；焦虑作为影响大学生心理健康的第二大问题，在我国大学生中的综合检出率为 21.51%^[5]。尤其是过去三年受到新冠肺炎疫情的冲击和影响，大学生群体产生焦虑、抑郁情绪的比例较之前更是有了明显上升且持续时间明显增加，对正常的学习和生活都产生了显著的负面影响。

刘迪、鞠文静等人在 2019 年随机抽取哈尔滨市两所大学的共 2150 名学生

进行问卷调查,结果显示 14.14%的学生处于焦虑状态,32.19%的学生处于抑郁状态^[6],而潘宇翔和陈军在 2022 年对安徽省高校大学生的负性情绪调查结果显示,参与调查的大学生中有 19.69%的人存在焦虑的症状,高达 42.47%的人存在抑郁症状^[7]。《2022 国民抑郁症蓝皮书》指出,经历了新冠肺炎之后,全球精神障碍疾病的负担加重,重度抑郁症和焦虑症的病例分别增加了 28%和 26%,抑郁症患者激增 5300 万,增幅高达 27.6%。大学生群体中焦虑和抑郁症状的检出率明显提高,在 2020 年春和 2022 年春分别对广东省某校的大学生进行抑郁自评量表调查,结果发现抑郁的总检出率从 2020 年的 21.68%上升到 2022 年的 26.96%^[8]。综合了各项新冠肺炎疫情前后对大学生抑郁和焦虑情况的研究后,翟文海等人发现大学生抑郁症状检出率从疫情前的 30.9%上升到疫情后的 35.7%^[9];焦虑症状检出率从疫情前的 21.9%上升到疫情后的 24.2%^[10]。这说明席卷全世界的新冠肺炎疫情对大学生群体的心理健康状况造成了严重的不良影响。焦虑、抑郁以及两者共患状态的大学生更容易做出健康危险行为,持续的中度、重度焦虑和抑郁甚至会危及生命安全,且健康危险行为的检出率随焦虑和抑郁状态的加重而上升^[6]。2020 年 9 月,国家卫健委要求所有高等院校要将抑郁症筛查纳入大学生入学健康体检的范围内,也体现了国家对大学生心理健康的关心和关注。

焦虑症和抑郁症与人的情绪状态密切相关,短时间的焦虑和抑郁心情是正常的情绪波动,并不会对身心健康产生明显的危害,但一旦持续时间过长且自身无法调节,这些负性情绪就会发展成严重的情绪障碍和心理疾病,因此如果能在早期灵敏地识别出焦虑和抑郁情绪并采取有效措施进行干预,就会降低其发展成为抑郁症和焦虑症的可能性,提高大学生群体的心理健康水平。

1.2 环境光照

1.2.1 环境光照影响情绪的生理基础

环境光照作为一种极为重要的外界授时信号,在地球上所有生物的生命历程中都发挥着举足轻重的作用,特别是对于哺乳动物来说,环境光照能够促使生物体根据外部环境的明暗变化调整自身的昼夜节律,使其协调一致^[3]。起初人们对环境光照的认知仅限于它可以帮助人们掌握周围环境中客体的空间信息,

从而形成对外部环境完整的视觉图像，直到 20 世纪初，科学家们在哺乳动物的视网膜上发现了除视杆细胞和视锥细胞之外的第三种细胞——内在光敏感性神经节细胞（Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells, ipRGCs）。随着对 ipRGCs 的进一步研究，研究者们发现了环境光照的非视觉功能（Non-image forming function, NIF），即环境光照会影响机体的自主神经活动、生物节律以及情绪和认知过程，ipRGCs 虽然只是视网膜上很少的一部分神经节细胞（<5%），但是却可以将光照信号投射到数十个大脑区域^[11]。ipRGCs 感知到光照信号以后会直接传递到负责调节抑郁和焦虑情绪的脑区，如内侧杏仁核（MA）、外侧缰核（LHb）等位置，对情绪产生即时的直接影响^{[12]、[13]}；此外，光照信号还会被传递到位于下丘脑中的视交叉上核（Suprachiasmatic nucleus, SCN），负责睡眠和觉醒的腹侧被盖区（VTA）、松果体（pineal）、中缝核（raphe）等大脑区域受到 ipRGCs 和 SCN 的共同影响，通过调节生理节律从而间接影响情绪^[14]。

除此之外，短时急性强光照射还能够在不改变机体正常生理节律的同时引发大脑边缘区域的显著反应，如海马和杏仁核^{[15]、[16]}、扣带回皮层^[17]、前额叶皮层^[18]。具体表现在，在高强度的环境光照条件下，当大脑接收到能够引起负性情绪的刺激时，强光会抑制杏仁核对情绪进行自下而上的注意和加工，并增强由前额叶皮层主导的自上而下的情绪调节，且这种边缘区域和大脑皮层神经活动的强度与照度之间存在正相关，即光照强度越强，情绪调节的反应越强^[4]。

1.2.2 环境光照与情绪的关系

社会发展带来人类生活和工作环境的变化，人们不再需要长时间在室外工作，而是一天之中 90%的时间都生活在室内，随之而来的问题就是人类直接接受太阳光照射的时间明显减少。一般来说，天气晴朗时室外光的照度大于为 10000lx，非晴朗天气室外光也能达到 5000lx-8000lx，目前人类常用的照明工具只是为了满足视觉要求，绝大部分明亮的室内环境中光照强度也只能达到 500lx 左右^[19]，对于长时间的工作和学习来说，300lx-500lx 的光照强度对视觉感受器官来说是适宜的，但对于人体生理节律和神经活动来说是远远不够的，大量研究发现，焦虑、抑郁等情绪问题的出现与季节和纬度之间存在相关，在高纬度地区的研究中发现，光照时间短、光照强度低的冬季，人们更容易出现情绪问

题，这些地方的季节性抑郁症患病率可以达到 10%。在对办公室环境光的研究中发现，环境光照不足会让人更易感到疲劳和困倦，导致工作表现下降和心理压力增加，而相对明亮的光线可以显著提高上班族的活力感和情绪体验^{[20]、[21]、[22]}。

环境光照对负性情绪的改善是通过光疗法实现的。光疗法一般指在早上接受照度为 2500lx-10000lx 的人造光 30-120 分钟^[23]，在情绪障碍治疗领域，这是一种对人体友好且成本低的非侵入式治疗方法，有着效果明显、不良反应风险低的优点，美国精神病学会已经将光疗法推荐为季节性情绪障碍的一线治疗方法^[3]。关于环境光照对人影响的研究还表明，人可以从白天较高的照度中受益，表现为睡眠质量的提高和情绪状态的改善^[24]；在对精神疲劳人群的研究中发现，当暴露在高强度环境光照下时，参与者感受到的困意较轻、自我控制能力和主观警觉性更强^[25]；对健康人群的研究也表明，白天暴露在强光下与活力感的增强之间存在直接联系，可以提高生理唤醒和持续注意力任务的表现。Richard 等人在对老年抑郁患者进行光照治疗时发现，每天一小时的强光照射对实验组和对对照组老年人的情绪都有明显的改善^[26]。Sit 等人在研究中发现，与不使用光照治疗的双相情感障碍患者相比，接受光照治疗的受试者抑郁评分明显低于安慰剂组，这表明有控制的人工日光暴露对治疗双相情感障碍患者的抑郁症状有效^[27]。Lam 和同事对 122 名患有重度抑郁症的成年人进行了一项持续 8 周的随机、双盲实验^[28]，并使用蒙哥马利-阿斯伯格抑郁评分量表（MADRS）从基线到 8 周终点的变化评分作为主要结果，结果表明，光疗法无论是作为单一治疗方法还是与氟西汀联合治疗，对于治疗成人重度抑郁症都是显著有效且耐受性良好的。Pierre 和同事系统地评估了以往关于光疗治疗重度抑郁症的研究，发现光照疗法和抗抑郁药的治疗效果同样显著^[29]。此外，一些研究还发现，光疗对于减轻和缓解健康个体的抑郁症状也有显著作用^{[30]、[31]}，在一项评估光疗法对非季节性阈下抑郁症疗效的实验中，Lijun Jiang 等人发现高强度光疗组（5000lx）和低强度光疗组（500lx）大学生的非季节性阈下抑郁症都得到了有效缓解，但是高强度光疗比低强度光疗更有效，而且除抑郁症状外，焦虑症状也有所减轻^[32]。人类的昼夜节律系统需要视网膜暴露在短波长光中一定的时间才能够被激活，目前建筑中使用的电气照明的制造和设计只是为了满足视觉要求，无法在正确

的时间提供足够强度的光谱来刺激白天的节律系统，同时夜间会暴露在过多的光线下，这两种情况可能会共同导致睡眠质量变差和情绪障碍，Mariana 和他的同事证实了全天高水平的有效光增加与睡眠质量的提高、抑郁的减少有关^[33]。在运用强白光治疗抑郁障碍患者的过程中发现，清晨接受强光照射对焦虑和抑郁的改善程度显著优于中午白光。强白光对情绪和认知的影响主要是通过缰核、视上核、杏仁核产生的，光照变化作用于视上核，通过调节人体节律进而影响睡眠和情绪^[36]，除此之外视上核也能通过海马、额叶发挥认知调控的功能^[37]。

短时强光暴露对情绪的影响会受到光照参数、暴露时长、测量工具的影响。在一些探究短时光照改变对情绪的影响的实验室研究中，光照强度和时长对情绪的影响程度存在差异。Smolders 和 de Kort 测量了被试暴露在高照度（1000lx）和低照度（200lx）的光照环境中 30 分钟后的情绪，发现高照度条件下被试的积极情绪得分要显著高于低照度条件下^[25]，在后续的研究中也发现相较于照度为 100lx 时，在 1000lx 的照度下暴露 50 分钟后，被试在 PANAS 量表中负性情绪的自评得分显著降低，生理唤醒度更高^[34]。不过，有些研究也并未发现照度提高对情绪改善的效果。现有研究能够说明，强光暴露的时长以及开始接受光照的时间点与抑郁情绪的改善之间存在负相关，强光暴露的时间越长^[35]；^[36]，早上接受光照的时间越早^[37]；^[38]，被试的抑郁评分越低。但 Smolders 的两项研究发现了光照时长可能会调节短时强光对情绪的影响，在 1000lx 的照度中暴露 30 分钟可以提高积极情绪^[25]，而暴露 50 分钟时强光对积极情绪和消极情绪的影响就变得不显著了^[34]。有一项较新的研究发现 ipRGCs 的各个亚型细胞对光照的响应时间不同^[39]，因此环境光照对情绪的影响是否存在时间边界仍需要进一步探究。Prayag 等人的研究结果提示，环境光照对情绪的直接影响了在生理和行为层面的响应时间不同^[40]，因此未来的研究可以从主观体验和客观生理活动两方面同时考察不同的光照强度和光照时间是否会对情绪状态产生不同的影响。。

1.3 心率变异性

1.3.1 心率变异性的定义

心率变异性（Heart rate variability, HRV）是通过测量连续正常 R-R 间期变化的变异性来反映心率变化的程度和规律，从而判断自主神经系统（Autonomic

nervous system, ANS) 中交感神经和副交感神经的活性及其之间的关系, 是一种了解自主神经系统协调性的一个有效指标。其中时域指标 SDNN (心跳期间的标准偏差) 主要体现的是心率变异性整体活动性的变化, RMSSD (相邻 R-R 间期差值的均方根) 主要体现的是副交感神经系统的活动。频域指标 LF (Low Frequency) 代表低频功率, 其变化反映的是交感神经和迷走神经的协调程度, HF (High Frequency) 代表高频功率, 反映的是迷走神经的活动性^[41]。

1.3.2 心率变异性与情绪的关系

心率及其变异性能够直接反映心脏活动, 与自主神经系统的活动有着密不可分的关系, 不同的情绪状态对应着不同的自主神经反应模式, 因此心率变异性可以灵敏地反映个体的情绪状态及其变化^[42]。Thayer 等人提出的情绪反应的神经内脏整合模型也指出, 由中枢神经系统控制的复杂情绪反应在经过一系列脑区和自主神经后也会通过心率反映出来^[43]。当机体处于焦虑不安的状态时, 副交感神经系统的活性降低, 功能就会受到抑制, 此时, 反映副交感神经的心率变异性指标值就会下降, 而代表交感神经系统活性的指标数值就会升高, 已有研究表明, 抑郁情绪对副交感神经系统的影响尤为显著^[44]。在基于呼吸和心电信号的情绪识别研究中, 刘荣娟发现积极情绪状态下自主神经系统中的交感神经作用会增强且增强的程度要高于副交感神经减弱的程度; 情绪消极时副交感神经的作用会增强, 且整个自主神经系统在愤怒和厌恶时调节机制会加强。在一对一的情绪分类中, 依靠心电信号进行情绪识别的准确率可以达到 90% 以上, 在多分类的情绪模型中, 识别准确率也可以达到 83.61%^[6]。翁铎珏和周波在研究中发现, 抑郁症患者在进行情绪面孔识别任务时心率变异性指标显著低于正常被试, 且抑郁程度越重, 心率变异性越差, 自主神经系统功能越紊乱, 这一方面说明了心率变异性指标对诊断抑郁症具有一定的参考价值, 另一方面证明了在识别到消极情绪时心率变异性也会有所降低^[45]。对射击射箭运动员的专注力评估研究证实了 HRV 指标与动态专注力之间存在显著相关, 心率变异性越大, 副交感神经张力越好, 运动员的专注水平就越高、焦虑水平越低^[46]。川北医学院的研究者在对老年情绪障碍患者的观察中发现情绪障碍会伴随着交感神经张力增强而副交感神经水平减弱, 尤其是抑郁状态对副交感神经活动的抑制性更强, 且焦虑和抑郁情绪对心率变异性的影响会叠加^[47]。王婷婷、马语晗

等人比较和分析了大学生焦虑、抑郁状态下心率变异性的特点，发现了焦虑组、抑郁组与其对应的对照组之间不仅在心率上存在显著差异，其心率变异性的时域和频域特点也存在明显不同，证明了大学生抑郁、焦虑状态与心率变异性指标之间存在相关性^[48]。

1.4 晚期正电位与情绪变化的关系

晚期正电位 (late positive potential, LPP): LPP 与人脑对情绪的处理有关, 通常在刺激出现后的 300ms 开始出现并持续几百毫秒, 随着时间的推移, 其头皮分布从后向前转移, 在中央-顶区位置达到峰值, 晚期正电位与人脑对情绪的处理有关, 是情绪调节中的重要生理指标^[49]。

在情绪识别过程中, LPP 会出现明显的振幅变化, 这种变化在中央顶区的差异最为显著^[50], 中枢和顶叶 LPP 振幅在处理情绪刺激时大于 P1、P2、N1 等其它波段, 据推测, LPP 反映了皮层下动机系统 (如杏仁核) 对视觉系统的持续调节^{[51]、[52]}, 也受到前额叶皮层自上而下的调节^[53], 因此 LPP 成分被认为是情感加工后期资源分配最稳健、最可靠的指标^[54], 反映了对情感刺激自动和受控处理的结合^[55]。在一项对于情绪调节的 ERPs 晚正成分的研究中发现, LPP 是对情绪相关刺激的早期反应, 它体现出大脑对情绪调节的自动化反应^[56]。在对成年抑郁个体的研究中发现, 不论是积极情绪图片还是消极情绪图片, 抑郁症患者的晚期正电位幅值相较于正常被试都存在显著降低^[57]。在一项探究气功八段锦对大学生情绪改善的研究中发现, LPP 振幅与情绪变化之间存在显著相关, 且 LPP 振幅增大会伴随着积极情绪的产生^[58]。由于神经元群的电活动是通过大脑传到到头皮的, 因此头皮记录和神经活动几乎是同时发生的, 脑电图能够以毫秒为单位进行采样, 因此 ERP 具有极好的时间分辨率, 可以反映神经过程中早期的和快速的变化^[59]。

2 问题提出

2.1 问题提出

通过对以往研究的梳理，发现在高强度环境光照对情绪影响的研究中仍存在以下不足之处。

（1）在研究对象方面，以往研究多以患有季节性情感障碍、双相情感障碍、严重抑郁症等心理疾病的患者为观察对象，缺乏对普通大学生的研究。

（2）已有研究证实了高照度的环境光照能够显著影响情绪状态，但是在探究具体有效的光照强度和光照时间方面存在分歧，有待进一步研究。

（3）在探究环境光照对情绪的影响时，以往研究一般会结合其他治疗方法共同进行，缺乏对环境光照的单独观测。

（4）大学生群体的心理健康是其成长成才的重要基础，随着社会发展对人才的要求越来越高，大学生面临着日渐增大的学业压力和就业压力，焦虑症和抑郁症的检出率逐年增高，通常焦虑和抑郁情绪持续较长时间后才能诊断为心理疾病，因此迫切需要找到一个能够短时有效改善情绪状态的方法。

2.2 研究假设

针对上述问题，本研究以普通大学生为研究对象，基于环境光照的非视觉效应，以心率变异性（HRV）和事件相关电位（ERPs）中的晚正电位（LPP）为观测的生理指标，提出以下研究假设。

（1）高强度环境光照可以提高心率变异性，增强迷走神经系统的活性，提高交感神经系统和迷走神经系统的协调性。

（2）高强度环境光照可以增强大脑皮层在处理情绪刺激时晚期正电位的振幅，且振幅大小和区域特点会随光照强度和光照时间的变化而不同，照度越高晚期正电位的振幅越大；随着光照时间的延长，LPP 振幅会在中央-前额区域达到最大。

（3）高强度环境光照可以在较短的时间内改善大学生情绪状态，降低焦虑、抑郁情绪量表得分。照度越高情绪改善越快，但照度不是越高越好，可能存在

一个最有利于改善大学生情绪状态的光照强度和时长。

2.3 研究意义

2.3.1 理论意义

(1) 在不同的情绪状态下, 自主神经系统具有不同的活动特点, 心率变异性是能够直接反映自主神经系统活动的生理信号, 本研究以心率变异性为观测指标, 结合被试自我报告的量表结果, 证实情绪变化与心率变异性之间存在显著相关, 进一步说明心率变异性具有较高的准确度和便捷性, 可以作为情绪研究的重要参考指标,。

(2) 以往研究通过丰富的脑区证据证明了环境光照会影响海马、杏仁核、下丘脑等大脑边缘区域从而参与大脑的情绪调节过程, 但很少学者探究不同照度和时间的短时强光照射对大脑皮层活动的影响。本研究通过对光照结束后大脑皮层处理情绪刺激时的晚正电位分析, 证明强光照射可以影响前额叶皮层的活动, 进一步补充和丰富了环境光照影响情绪的生理证据。

(3) 高照度的环境光照对于季节性情感障碍、严重抑郁症等心理疾病疗效显著, 甚至可以起到与药物相同的治疗效果, 但鲜有对于普通大学生群体的研究。本研究以普通大学生作为研究对象, 探究环境光照对于大学生心理健康的影响条件, 拓展了光疗法的应用对象和范围, 对室内环境光照的设置提供参考。

2.3.2 现实意义

(1) 大学生心理健康状况不容乐观, 焦虑症抑郁症检出率逐年提高, 如果能够在负性情绪出现的早期采取有效的干预措施, 就可以减少焦虑、抑郁情绪持续的时间, 降低其发展成焦虑症和抑郁症的比例。高照度的环境光照会通过视网膜上的视神经节细胞 ipRGCs 将光照信号传递至大脑负责情绪调控的区域, 抑制其对负性情绪进行自下而上的加工, 并加强前额叶皮层对情绪进行自上而下调节, 从而在大学生出现负性情绪时起到一种即时的改善作用, 减少消极情绪的持续时间, 降低其对心理健康的危害。

(2) 目前对大学生心理问题进行干预的方法主要以个体心理咨询、团体心理辅导、医院就医服药等传统方法为主, 通常需要一定的时间周期才能产生显著效果, 因此比较容易出现中途退出或因为怕麻烦而放弃寻求心理帮助的现

象。大量研究证实，光疗法是一种温和、高效的非侵入式治疗方式，2500lx-10000lx 的照度不会让人体产生不良反应，一项 Meta 分析显示，全光谱白光安全性高，抗抑郁疗效好，在临床治疗中是一种广泛应用的可靠波长^[60]。本研究结合光疗仪的特点与大学生使用感受，采用 2000lx-6000lx 的照度，进一步证明光疗对情绪改善的积极作用，为解决大学生心理健康问题提供一种可操作性较强的新方法。

（3）以往研究证明了周期性的光疗法是一种治疗情绪障碍的有效方法，但通常需要多次重复接受光疗且干预时间较长，考虑到大学生课程安排紧密、课业繁忙的时间特点，本研究将强光照时间控制在 60 分钟内，通过对不同照度和时长条件下的心率变异性 and 晚期正电位进行测量和分析，探索出一种对于改善情绪状态更为高效的光照条件。

3 实验 1: 高强度环境光照对心率变异性和情绪状态的影响

3.1 实验目的

通过设置不同的环境光照条件,探究光照强度与情绪变化之间的关系,同时在不同的光照时长条件下测量心率变异性,为高强度环境光照对情绪状态的影响提供生理依据。

3.2 实验方法

3.2.1 实验设计

本研究采用 5×4 混合实验设计,组内变量为光照时间(光照前,15 分钟、30 分钟、45 分钟、60 分钟),组间变量为光照强度(低照度,2000lx、4000lx、6000lx),因变量为心率变异性(HRV)和 PANAS 情绪自评量表得分、SAS 焦虑自评量表得分、SDS 抑郁自评量表得分。

本研究采用的光疗仪最大可发出照度为 10000lx 的光照,通过预实验对被试接受最大照度时的主观感受进行访问发现,照度达到 8000lx 及以上时,被试普遍会出现不良体验,6000lx 以下时,被试没有不良反应,因此本研究选取的照度为 2000lx、4000lx、6000lx,对照组的实验环境为普通的教室。

3.2.2 实验设备及材料

光疗仪:本研究提供高强度光照所使用的灯箱是由苏州瑞光电子科技有限公司与复旦大学电光源研究所共同研发的光疗用窝蜂式菲涅尔透镜装置及便携式光疗仪,其运用菲涅尔透镜最大程度地保证 LED 光源发出平行光,使亮度集中从而提高光照强度。该设备的外形尺寸为 240×350mm,产品厚度为 160mm,输出电压为 DC24V/2A,满载功率为 48w,照度≥10000lx。

HRV 反馈系统:本研究采用朗心 HRV 身心反馈训练系统 V7.0,系统采用脉搏血氧传感器,实时采集训练者的脉搏、血氧、协调度、放松度、压力指数、M-HRT、SD-HRT、SDNN、PNN50、VLF、LF、HF、LF/HF 等生物反馈参数。测试前被试需在安静状态下休息 10 分钟,待情绪稳定、适应环境后,告知被试:此过程大概需要 5 分钟的时间,请您保持平静,平稳呼吸,身体尽量保持不要

移动。5 分钟测量完毕后系统会自动采集心率变异性数据。

PANAS 情绪自评量表：正性负性情绪评估量表，共包含 20 个描述不同情绪的词汇，所有题目都是正向计分，分为正性和负性两个因子进行统计，正性因子得分越高，情绪越积极，负性情绪得分越高，情绪越消极。

SAS 焦虑自评量表：用于评估焦虑程度的心理量表，采用四级评分，统计指标为总分，将 20 个指标的得分相加为粗分，用粗分乘 1.25 后取整数部分得到标准分。中国常模 SAS 标准分的临界值为 50，50-59 为轻度焦虑，60-69 为中度焦虑，70 以上为重度焦虑。

SDS 抑郁自评量表：用于评估抑郁程度的心理量表，采用四级评分，统计指标为总分，将 20 个指标的得分相加为粗分，用粗分乘 1.25 后取整数部分得到标准分。标准分临界值为 50，50-59 为轻度抑郁，60-69 为中度抑郁，70 以上为重度抑郁。

3.2.3 实验流程

(1) 从上海体育大学招募 150 名普通大学生作为被试，采用随机分配的方法分为对照组和实验组，其中对照组 30 人，实验组共 120 人，随机分成 3 组，每组 40 人。

(2) 所有实验均在早上 8 点开始，实验组接受 60 分钟的光疗仪照射，对照组在自然光下静坐。在实验开始前，用照度仪测量实验环境的照度，确保实验组被试面部接受到对应的光照强度，对照组实验环境的照度不低于 300lx。实验期间所有被试均阅读相同的纸质材料。

(3) 本研究为短时光照实验，所有实验组被试均接受总时长为 60 分钟的光照，对照组在自然光下。实验开始前测量所有被试的心率变异性，实验开始后每 15min 复测一次心率变异性，一共需要测量 5 次；实验前后分别让被试填写 PANAS 情绪自评量表、SAS 焦虑自评量表、SDS 抑郁自评量表。

3.3 实验结果

3.3.1 对心率变异性指标进行重复测量方差分析

对心率变异性的时域指标进行重复测量方差分析（图 3.1-3.3；表 3.1）：

（1）HRV-SDNN：光照强度主效应显著（光照强度分别为低强度、2000lx、4000lx 与 6000lx， $F(3, 146) = 2.86$ ， $p = 0.039$ ， $\eta_p^2 = 0.06$ ），光照时间主效应显著（分别为 0min、15min、30min、45min 与 60min， $F(4, 584) = 15.90$ ， $p < 0.001$ ， $\eta_p^2 = 0.11$ ）。光照强度×光照时间交互作用显著（ $F(12, 584) = 4.63$ ， $p < 0.001$ ， $\eta_p^2 = 0.10$ ）。对交互作用进行简单效应分析发现，在光照 15min 时，仅有光照强度为 4000lx 实验组被试 HRV-SDNN（ $71.18 \pm 18.78\text{ms}$ ， $p = 0.04$ ， $d = 13.61$ ， $95\%CI = [0.6, 26.61]$ ）与低照度对照组被试（ $57.58 \pm 16.27\text{ms}$ ）差异显著。在时间窗光照 30min 时，光照强度为 2000lx 实验组被试 HRV-SDNN（ $81.31 \pm 29.89\text{ms}$ ， $p = 0.005$ ， $d = 21.72$ ， $95\%CI = [6.72, 36.72]$ ）、6000lx 实验组被试 HRV-SDNN（ $76.08 \pm 27.18\mu\text{s}$ ， $p = 0.031$ ， $d = 16.49$ ， $95\%CI = [1.53, 31.44]$ ）与低照度对照组被试（ $59.59 \pm 17.19\mu\text{s}$ ）差异显著。光照 45min 时，光照强度为 2000lx 实验组被试 HRV-SDNN（ $80.02 \pm 23.17\text{ms}$ ， $p = 0.004$ ， $d = 20.21$ ， $95\%CI = [6.56, 33.87]$ ）、4000lx 实验组被试 HRV-SDNN（ $82.94 \pm 25.64\text{ms}$ ， $p = 0.001$ ， $d = 23.13$ ， $95\%CI = [9.48, 36.79]$ ）与 6000lx 实验组被试 HRV-SDNN（ $79.26 \pm 20.34\text{ms}$ ， $p = 0.005$ ， $d = 19.45$ ， $95\%CI = [5.84, 33.06]$ ）均显著高于低照度对照组被试（ $59.81 \pm 11.18\text{ms}$ ）。光照 60min 时，光照强度为 2000lx 实验组被试 HRV-SDNN（ $88.45 \pm 35.32\text{ms}$ ， $p = 0$ ， $d = 31.75$ ， $95\%CI = [15.82, 47.67]$ ）、4000lx 实验组被试 HRV-SDNN（ $79.36 \pm 21.83\text{ms}$ ， $p = 0.006$ ， $d = 22.65$ ， $95\%CI = [6.72, 38.58]$ ）与 6000lx 实验组被试 HRV-SDNN（ $82.89 \pm 20.92\text{ms}$ ， $p = 0.001$ ， $d = 26.19$ ， $95\%CI = [10.31, 42.06]$ ）均显著高于低照度对照组被试（ $56.71 \pm 16.03\text{ms}$ ）。具体结果见图 3.1。

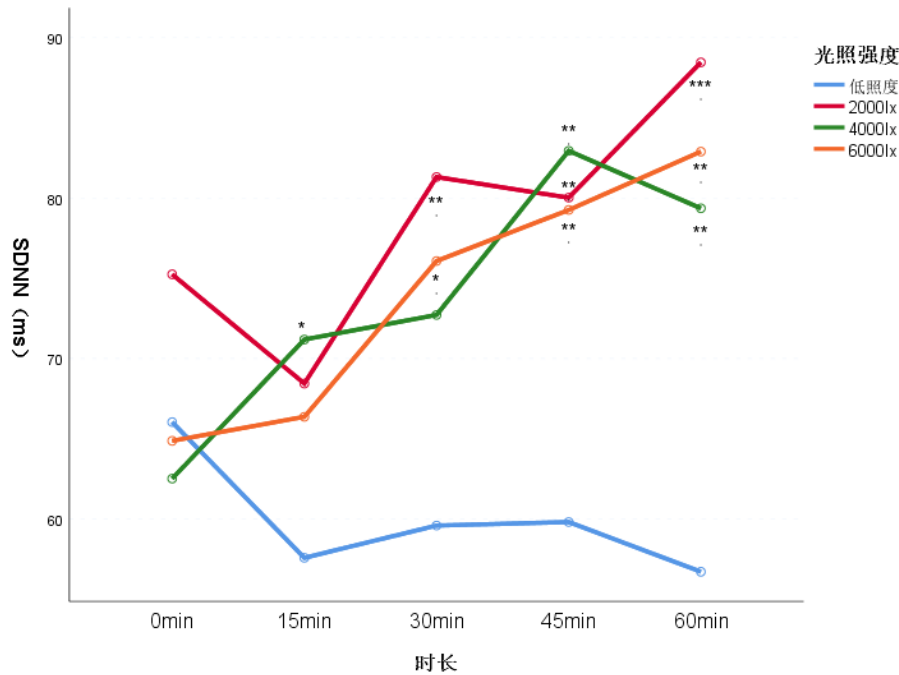


图 3.1 HRV-SDNN 方差分析结果

(2) HRV-RMSSD: 光照强度主效应显著 (光照强度分别为低强度、2000lx、4000lx 与 6000lx, $F(3, 146) = 2.94$, $p = 0.036$, $\eta_p^2 = 0.06$), 光照时间主效应显著 (测量时长分别为 0min、15min、30min、45min 与 60min, $F(4, 584) = 8.69$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.06$)。光照强度 \times 光照时间交互作用显著 ($F(12, 584) = 5.30$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.11$)。对交互作用进行简单效应分析发现, 在光照 30min 时, 光照强度为 2000lx 实验组被试 HRV-RMSSD ($67.75 \pm 39.33\text{ms}$, $p = 0.015$, $d = 21.69$, $95\%CI = [4.25, 39.12]$)、4000lx 实验组被试 HRV-RMSSD ($64.34 \pm 23.50\text{ms}$, $p = 0.040$, $d = 18.28$, $95\%CI = [0.85, 35.72]$) 与低照度对照组被试 ($46.06 \pm 12.13\text{ms}$) 差异显著。光照 45min 时, 光照强度为 2000lx 实验组被试 HRV-RMSSD ($69.28 \pm 31.13\text{ms}$, $p = 0.006$, $d = 24.36$, $95\%CI = [7.04, 41.69]$)、4000lx 实验组被试 HRV-RMSSD ($75.31 \pm 29.50\text{ms}$, $p = 0.001$, $d = 30.39$, $95\%CI = [13.06, 47.71]$) 与 6000lx 实验组被试 HRV-RMSSD ($63.30 \pm 28.06\text{ms}$, $p = 0.037$, $d = 18.38$, $95\%CI = [1.11, 35.65]$) 均显著高于低照度对照组被试 ($44.92 \pm 8.65\text{ms}$)。光照 60min 时, 光照强度为 2000lx 实验组被试 HRV-RMSSD ($75.36 \pm 42.79\text{ms}$, $p = 0.001$, $d = 31.78$, $95\%CI = [13.95, 49.60]$) 与 4000lx 实验组

被试 HRV-RMSSD ($66.61 \pm 23.72\text{ms}$, $p=0.012$, $d=23.03$, $95\%CI=[5.21, 40.85]$) 显著高于低照度对照组被试 ($43.58 \pm 8.14\text{ms}$)。具体结果见图 3.2。

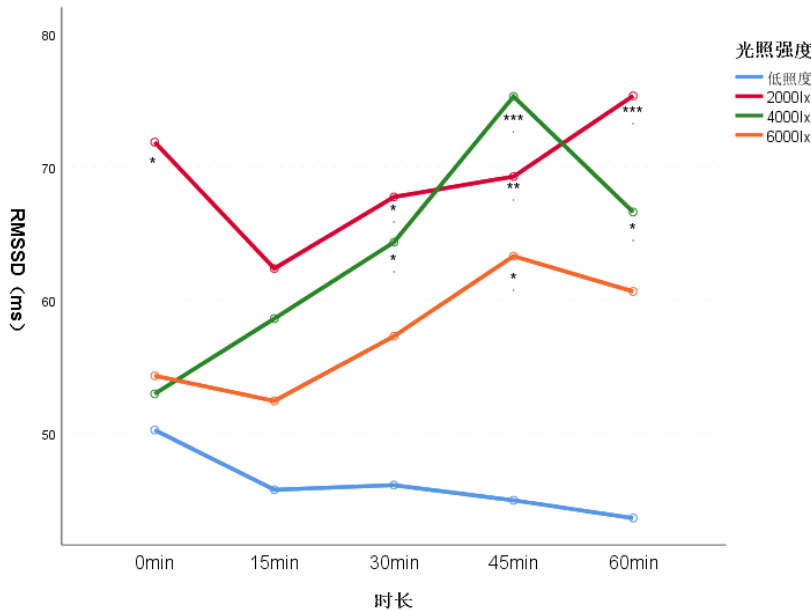


图 3.2 HRV-RMSSD 方差分析结果

(3) HRV-PNN50: 光照强度主效应不显著 (光照强度分别为低强度、2000lx、4000lx 与 6000lx, $F(3, 146) = 2.08$, $p=0.106$, $\eta_p^2=0.05$), 光照时间主效应显著 (测量时长分别为 0min、15min、30min、45min 与 60min, $F(4, 584) = 15.12$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.10$)。光照强度 \times 光照时间交互作用显著 ($F(12, 584) = 3.08$, $p=0.001$, $\eta_p^2=0.07$)。对交互作用进行简单效应分析发现, 在光照 30min 时, 光照强度为 2000lx 实验组被试 HRV-PNN50 ($0.31 \pm 0.17\text{ms}$, $p=0.041$, $d=0.11$, $95\%CI=[0.01, 0.21]$)、4000lx 实验组被试 HRV-PNN50 ($0.31 \pm 0.16\text{ms}$, $p=0.040$, $d=0.11$, $95\%CI=[0.01, 0.21]$) 与低照度对照组被试 ($0.21 \pm 0.12\text{ms}$) 差异显著。光照 45min 和光照 60min 下的实验组 HRV-PNN50 均显著高于低照度对照组被试 ($0.21 \pm 0.12\text{ms}$), 其中, 光照 45min 时 2000lx 实验组被试 HRV-PNN50 ($0.35 \pm 0.15\text{ms}$, $p=0.004$, $d=0.14$, $95\%CI=[0.05, 0.23]$)、4000lx 实验组被试 HRV-PNN50 ($0.37 \pm 0.14\text{ms}$, $p=0.001$, $d=0.16$, $95\%CI=[0.06, 0.25]$)、6000lx 实验组被试 HRV-PNN50 ($0.31 \pm 0.18\text{ms}$, $p=0.030$, $d=0.10$, $95\%CI=[0.01, 0.20]$), 光照 60min 光照强度为 2000lx 实验组被试 HRV-PNN50 ($0.37 \pm 0.18\text{ms}$,

$p=0.003$, $d=0.15$, $95\%CI=[0.06, 0.25]$)、4000lx 实验组被试 HRV-PNN50 ($0.35\pm0.15ms$, $p=0.006$, $d=0.14$, $95\%CI=[0.04, 0.24]$)、6000lx 实验组被试 HRV-PNN50 ($0.34\pm0.17ms$, $p=0.015$, $d=0.12$, $95\%CI=[0.02, 0.22]$)。见图 3.3.

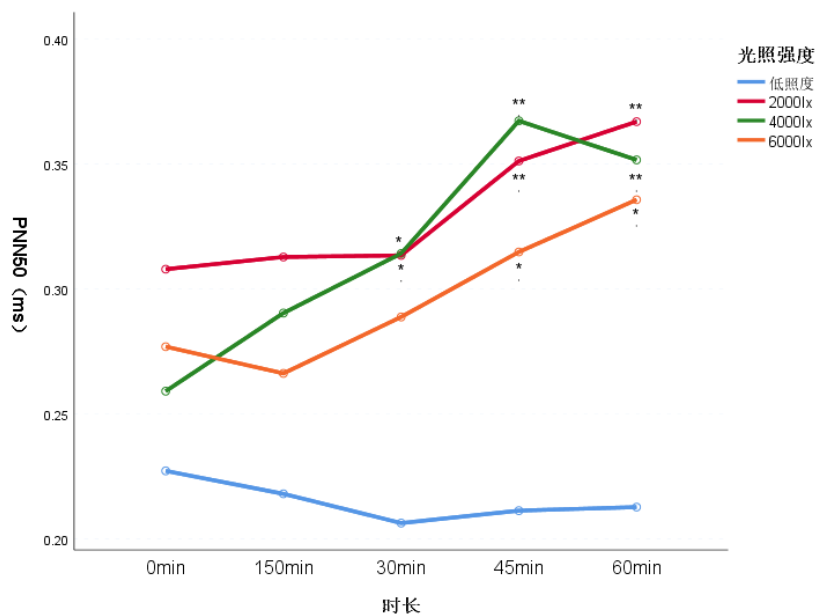


图 3.3 HRV-PNN50 方差分析结果

表 3.1 心率变异性时域指标的描述统计表

	对照组		光照强度 2000		光照强度 4000		光照强度 6000	
	n=30		n=40		n=40		n=40	
	平均 值 <i>M</i>	标准 差 <i>SD</i>	平均 值 <i>M</i>	标准 差 <i>SD</i>	平均 值 <i>M</i>	标准 差 <i>SD</i>	平均 值 <i>M</i>	标准 差 <i>SD</i>
PNN50								
光照前	0.23	0.12	0.31	0.21	0.26	0.16	0.28	0.17
15min	0.22	0.12	0.31	0.18	0.29	0.15	0.27	0.15
30min	0.21	0.12	0.31	0.17	0.31	0.16	0.29	0.18
45min	0.21	0.12	0.35	0.15	0.37	0.14	0.31	0.18
60min	0.21	0.12	0.37	0.18	0.35	0.15	0.34	0.17
RMSSD								
光照前	50.21	10.22	71.87	52.59	52.93	21.11	54.29	20.46
15min	45.71	13.33	62.36	37.77	58.59	25.98	52.40	18.95
30min	46.06	12.13	67.75	39.33	64.34	23.50	57.26	23.32
45min	44.92	8.65	69.28	31.13	75.31	29.50	63.30	28.06
60min	43.58	8.14	75.36	42.79	66.61	23.72	60.64	20.04
SDNN								
光照前	66.04	16.69	75.24	35.64	62.51	14.62	64.87	18.35
15min	57.58	16.27	68.44	26.26	71.18	18.78	66.37	19.10
30min	59.59	17.19	81.31	29.89	72.72	15.91	76.08	27.18
45min	59.81	11.18	80.02	23.17	82.94	25.64	79.26	20.34
60min	56.71	16.03	88.45	35.32	79.36	21.83	82.89	20.92

对心率变异性的频域指标进行重复测量方差分析（见图 3.4-3.5；表 3.2）：

（1）HRV-LF：光照强度主效应显著（光照强度分别为低强度、2000lx、4000lx 与 6000lx， $F(3, 146) = 3.80$ ， $p = 0.012$ ， $\eta_p^2 = 0.08$ ），光照时间主效应显著（测量时长分别为 0min、15min、30min、45min 与 60min， $F(4, 584) = 2.77$ ， $p = 0.015$ ， $\eta_p^2 = 0.03$ ）。光照强度×光照时间交互作用显著（ $F(12, 584) = 2.49$ ， $p = 0.011$ ， $\eta_p^2 = 0.05$ ）。对交互作用进行简单效应分析发现，在光照 45min 时，光照强度为 4000lx 实验组被试 HRV-LF（ $673.94 \pm 545.23 \mu V^2/Hz$ ， $p = 0.004$ ，

$d=398.35$, $95\%CI=[126.14, 670.57]$)、 $6000lx$ 实验组被试 HRV-LF ($549.20\pm460.31\mu V^2/Hz$, $p=0.048$, $d=273.61$, $95\%CI=[2.25, 544.96]$) 与低照度对照组被试 ($275.59\pm72.15\mu V^2/Hz$) 差异显著。在光照 15min 时 $2000lx$ 实验组被试 HRV-LF ($635.75\pm742.22\mu V^2/Hz$, $p=0.012$, $d=384.22$, $95\%CI=[85.11, 683.34]$) 显著高于低照度对照组被试 ($548.37\pm180.08\mu V^2/Hz$)、光照 30min 的 $2000lx$ 实验组被试 HRV-LF ($716.99\pm760.67\mu V^2/Hz$, $p=0.004$, $d=425.60$, $95\%CI=[137.56, 713.65]$) 显著高于低照度对照组被试 ($291.39\pm93.87\mu V^2/Hz$)、光照 45min 的 $2000lx$ 实验组被试 HRV-LF ($614.06\pm378.49\mu V^2/Hz$, $p=0.015$, $d=338.47$, $95\%CI=[66.25, 610.69]$) 显著高于低照度对照组被试 ($275.59\pm72.15\mu V^2/Hz$)、光照 60min 的 $2000lx$ 实验组被试 HRV-LF ($829.92\pm684.75\mu V^2/Hz$, $p=0.002$, $d=520.49$, $95\%CI=[195.12, 845.86]$) 显著高于低照度对照组被试 ($309.44\pm113.64\mu V^2/Hz$)。(具体结果见图 3.4)

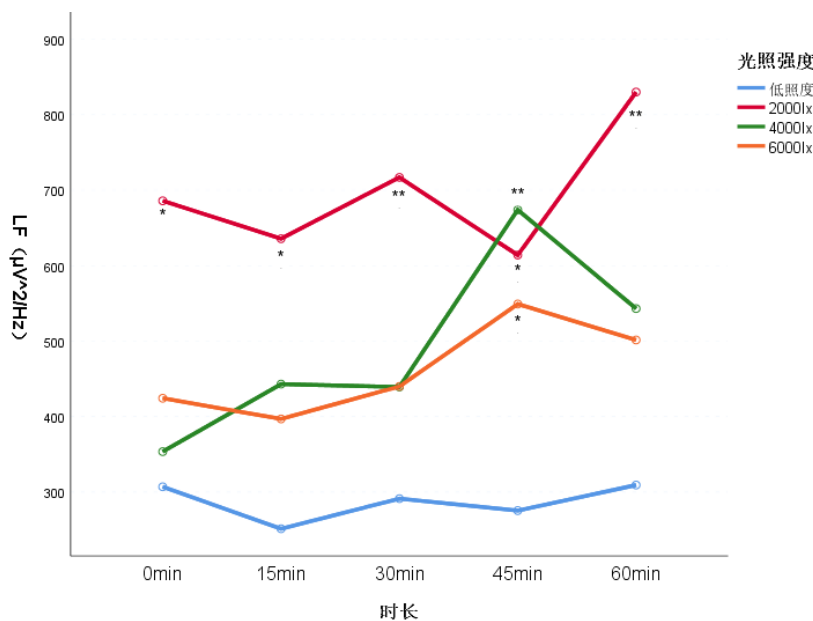


图 3.4 HRV-LF 方差分析结果

(5) HRV-HF: 光照强度主效应显著 (光照强度分别为低照度、 $2000lx$ 、 $4000lx$ 与 $6000lx$, $F(3, 146)=2.91$, $p=0.037$, $\eta_p^2=0.06$), 光照时间主效应显著 (测量时长分别为 0min、15min、30min、45min 与 60min, $F(4, 584)=9.67$, $p=0.002$, $\eta_p^2=0.07$)。光照强度 \times 光照时间交互作用显著 ($F(12, 584)$

$=2.43$, $p=0.006$, $\eta_p^2=0.05$)。对交互作用进行简单效应分析发现, 在光照 30min 时的 2000lx 实验组被试 HRV-HF ($1097.35\pm895.68\mu\text{V}^2/\text{Hz}$, $p=0.002$, $d=597.26$, $95\%\text{CI}=[217.62, 976.89]$) 显著高于低照度对照组被试 ($500.09\pm127.71\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)、光照 45min 的 2000lx 实验组被试 HRV-HF ($984.16\pm682.66\mu\text{V}^2/\text{Hz}$, $p=0.027$, $d=435.79$, $95\%\text{CI}=[50.06, 821.53]$) 显著高于低照度对照组被试 ($548.37\pm180.08\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)、光照 60min 的 2000lx 实验组被试 HRV-HF ($1219.82\pm937.24\mu\text{V}^2/\text{Hz}$, $p=0.001$, $d=708.71$, $95\%\text{CI}=[299.53, 1117.88]$) 显著高于低照度对照组被试 ($511.11\pm184.60\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)。光照 45min 时, 光照强度为 4000lx 实验组被试 HRV-HF ($987.59\pm643.29\mu\text{V}^2/\text{Hz}$, $p=0.026$, $d=439.22$, $95\%\text{CI}=[53.48, 824.96]$) 与低照度对照组被试 ($548.37\pm180.08\mu\text{V}^2/\text{Hz}$) 差异显著, 而在其他光照时间下差异不显著。光照强度为 6000lx 实验组被试在光照 60min 时 HRV-HF ($988.75\pm650.40\mu\text{V}^2/\text{Hz}$, $p=0.022$, $d=477.64$, $95\%\text{CI}=[69.76, 885, 52]$) 与低照度对照组被试 ($511.11\pm184.60\mu\text{V}^2/\text{Hz}$) 差异显著, 而在其他光照时间下差异不显著。具体结果见图 3.5。

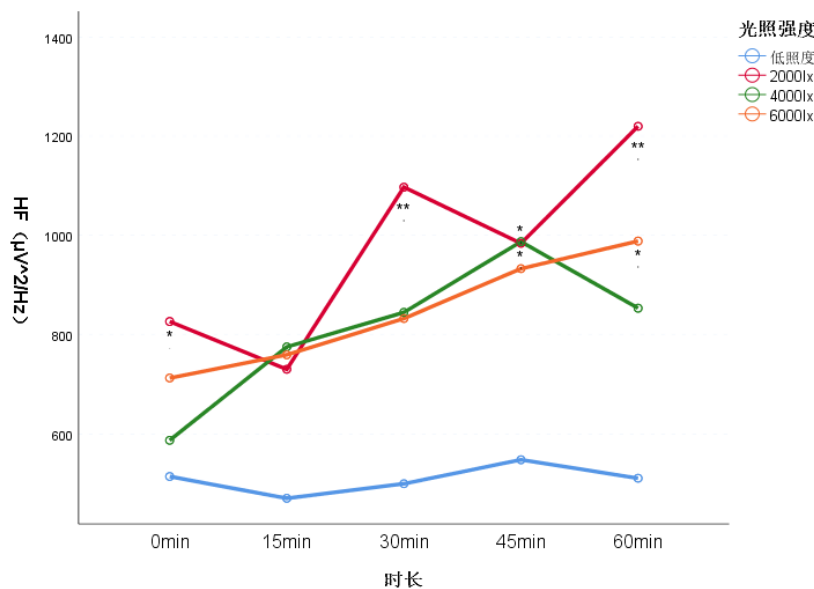


图 3.5 HRV-HF 方差分析结果

表 3.2 心率变异性频域指标的描述统计表

	对照组		光照强度 2000		光照强度 4000		光照强度 6000	
	n=30		n=40		n=40		n=40	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
HF								
光照前	514.69	215.49	826.78	682.63	587.49	265.64	712.96	525.59
15min	470.68	144.43	730.54	593.64	775.65	502.96	759.74	704.96
30min	500.09	127.71	1097.35	895.68	845.18	429.80	832.70	532.15
45min	548.37	180.08	984.16	682.66	987.59	643.29	933.19	650.34
60min	511.11	184.60	1219.82	937.24	853.63	408.19	988.75	650.40
LF								
光照前	307.08	90.72	685.93	975.74	353.69	207.65	424.42	336.00
15min	251.53	100.91	635.75	742.22	443.11	402.87	397.02	278.92
30min	291.39	93.87	716.99	760.67	439.32	260.44	440.06	294.80
45min	275.59	72.15	614.06	378.49	673.94	545.23	549.20	460.31
60min	309.44	113.64	829.92	684.75	543.14	506.05	501.60	455.75

3.3.2 对实验组和对照组前后两次情绪量表的结果进行配对样本 *t* 检验

结果显示：对照组（表 3.3）前后两次情绪量表得分无显著差异，实验组（表 3.4）整体接受 60min 光照后负性情绪、焦虑得分、抑郁得分均显著降低。

表3.3 对照组前后两次情绪量表得分的配对样本*t*检验结果

对照组	前	后	<i>t</i>	<i>p</i>
正性情绪	29.14±4.82	29.37±5.23	-.971	.349
负性情绪	18.86±2.32	18.71±2.34	.520	.612
焦虑	37.43±4.18	37.29±3.41	.380	.710
抑郁	44.29±6.81	44.29±7.66	.000	1.000

表3.4 实验组前后两次情绪量表得分的配对样本*t*检验结果

实验组	光照前	光照后	<i>t</i>	<i>p</i>
正性情绪	29.33±6.07	30.08±7.35	-1.986	.049
负性情绪	20.02±5.11	18.64±5.28	4.378	<.001
焦虑	37.85±5.13	36.09±5.35	3.884	<.001
抑郁	44.52±7.84	42.76±8.08	3.708	<.001

对三种照度条件下的实验组分别进行两次情绪量表得分的配对样本 t 检验, 结果发现:

- (1) 照度为 2000lx 时, 光照后负性情绪得分较光照前显著降低 ($p < 0.05$), 正性情绪、焦虑、抑郁则没有显著改善。具体结果见表 3.5。

表 3.5 2000lx 实验组前后两次情绪量表得分的配对样本 t 检验结果

2000lx	光照前	光照后	t	p
正性情绪	29.32±7.42	29.77±7.34	-1.361	.180
负性情绪	18.45±5.56	17.77±5.47	2.606	.013
焦虑	37.68±4.86	36.86±5.14	1.748	.088
抑郁	44.41±7.48	43.41±8.60	1.159	.253

- (2) 照度为 4000lx 时, 光照后除正性情绪外, 其他情绪指标与光照前均有显著差异 ($p < 0.01$), 其中焦虑情绪的改善尤为明显 ($p < 0.001$)。具体结果见表 3.6。

表 3.6 4000lx 实验组前后两次情绪量表得分的配对样本 t 检验结果

4000lx	光照前	光照后	t	p
正性情绪	29.45±6.64	29.59±9.08	-.134	.894
负性情绪	20.59±4.57	18.23±5.29	2.995	.005
焦虑	37.68±4.86	34.86±4.95	4.709	<.001
抑郁	45.91±8.19	42.95±8.15	2.852	.007

- (3) 照度为 6000lx 时, 光照后除焦虑情绪外, 其他情绪指标与光照前均有显著差异 ($p < 0.05$), 其中正性情绪和抑郁情绪的差异尤为显著 ($p < 0.01$)。具体结果见表 3.7。

表 3.7 6000lx 实验组前后两次情绪量表得分的配对样本 t 检验结果

6000lx	光照前	光照后	t	p
正性情绪	29.23±3.65	30.86±4.26	-5.108	<.001
负性情绪	21.00±4.90	19.91±4.95	2.575	.014
焦虑	38.32±5.61	36.55±5.83	1.562	.126
抑郁	43.23±7.79	41.91±7.56	3.067	.004

3.4 实验讨论

3.4.1 高照度的环境光照对心率变异性的影响

本研究设置的三种高照度光照条件 (2000lx、4000lx、6000lx) 均能够有效提高实验组被试的心率变异性, 相较于正常环境光照下的对照组, 实验组大学

生的时域指标 HRV-SDNN、HRV-RMSSD、HRV-PNN50 显著提高说明强光环境下的 心率变异性更高，交感神经和迷走神经的功能更好；频域指标 HRV-LF、HRV-HF 显著提高说明高照度的环境光照可以提高迷走神经的活性，提高自主神经系统的协调性和平衡性。照度相对较低（2000lx）的时候，实验组大学生的心率变异性需要较长的光照时间才能出现显著提高，照度越高，心率变异性提高的速度越快、变化越大，但离散性也随之变大，说明较高的照度对心率变异性的影响可能存在个体差异。

3.4.2 光照时间在环境光照对心率变异性影响中的作用

重复测量方差分析结果显示，光照时间对心率变异性各个指标影响的主效应显著，光照时间与光照强度的交互作用显著。强光照射 15min 时，4000lx 和 6000lx 实验组大学生心率变异性的时域指标 HRV-SDNN、HRV-RMSSD、HRV-PNN50 与对照组差异显著，因为时域指标对光照时间的变化更敏感，时效性更强，这说明高强度环境光照对心率变异性的影响在较早的时间就开始产生。随着光照时间的延长，高照度组的时域指标始终显著高于对照组，当光照时间达到 45min 时，频域指标 HRV-LF、HRV-HF 开始显著提高，高照度实验组的心率变异性整体高于对照组，这说明暴露在高强度环境光照中的时间至少要达到 30min 以上心率变异性才会产生整体改善。值得注意的是，当光照时间达到 60min 时，HRV-SDNN、HRV-RMSSD、HRV-LF、HRV-HF 在 4000lx 和 6000lx 照度下出现了不同程度的下降，这说明高强度光照的时间超过 45min 可能不利于心率变异性的整体改善。

3.4.3 高照度的环境光照对情绪的影响

整体来看，实验组被试接受 60 分钟的高照度环境光照后，正性情绪得分较光照前显著提高，负性情绪、焦虑和抑郁得分较光照前显著降低，这说明高照度的环境光照对大学生的情绪状态有良好的改善作用。具体来说，环境光照的强度为 2000lx 时，光照后大学生的负性情绪感受可以得到显著降低，说明负性情绪状态比较容易随着环境光照的提高而改善，但正性情绪和焦虑、抑郁得分在光照后没有显著变化；环境光照的强度为 4000lx 时，光照后大学生的负性情绪、焦虑、抑郁较光照前得到显著改善，说明照度的提高能够有效缓解消极情绪，4000lx 的照度对缓解焦虑情绪效果最好；环境光照的强度为 6000lx 时，光

照后大学生的正性情绪感受更加明显，同时伴随着抑郁情绪得到有效改善，但对于改善焦虑情绪的作用不显著，说明较高的照度可能不利于缓解焦虑。

4 实验 2：高强度环境光照对晚期正电位和情绪状态的影响

4.1 实验目的

采用大脑皮层晚期正电位作为反映情绪实时变化的生理数据，进一步探究光照强度和光照时长是如何影响情绪状态的，探索一个对于改善情绪最为有效的照度和时间条件。

4.2 实验方法

4.2.1 实验设计

本研究采用 2×3 混合实验设计，组内变量为光照时间（30 分钟、60 分钟），组间变量为光照强度（2000lx、4000lx、6000lx），因变量为 LPP 平均波幅、SAS 焦虑自评量表得分、SDS 抑郁自评量表得分。

4.2.2 实验设备及材料

脑电数据采集设备：本实验脑电数据由 BrainAmpStandard 系统（Brain Product GmbH, Germany）进行采集并由 Brain Vision Recorder2.0（Brain Product GmbH, Germany）软件进行记录，64 个 Ag/AgCl 电极通道依照国际通用 10-20 系统进行排布，在线采样率为 1000Hz，参考电极为 FCz，接地电极为 AFz^[61]。垂直眼电（VEOG）电极放置于左眼眶下 1cm 处，水平眼电（HEOG）电极放置于右眼角外 1cm 处。实验开始前，所有电极点与头皮之间的阻抗需降至 $5k\Omega$ 以下。

光疗仪：光疗用窝蜂式菲涅尔透镜装置及便携式光疗仪，其运用菲尼尔透镜最大程度地保证 LED 光源发出平行光，使亮度集中从而提高光照强度。该设备的外形尺寸为 $240 \times 350\text{mm}$ ，产品厚度为 160mm，输出电压为 DC24V/2A，满载功率为 48w，照度 $\geq 10000\text{lx}$ 。

SAS 焦虑自评量表：采用四级评分，统计指标为总分，将 20 个指标的得分相加为粗分，用粗分乘 1.25 后取整数部分得到标准分。中国常模 SAS 标准分的临界值为 50，50-59 为轻度焦虑，60-69 为中度焦虑，70 以上为重度焦虑。

SDS 抑郁自评量表：采用四级评分，统计指标为总分，将 20 个指标的得分

相加为粗分, 用粗分乘 1.25 后取整数部分得到标准分。中国常模 SDS 标准分的临界值为 50, 50-59 为轻度抑郁, 60-69 为中度抑郁, 70 以上为重度抑郁。

4.2.3 实验流程

(1) 采用 G-power 工具计算实验所需样本量, 当效应量为 0.25, α 为 0.05, 置信水平为 0.95 时, 所需样本量为 66 人。本研究通过在线发放 SAS、SDS 问卷的方式, 筛选出问卷得分高于 45 分的被试共 72 人, 随机分配到光照强度不同的三组 (2000lx、4000lx、6000lx) 中, 每组 24 人。

(2) 实验开始前用照度仪测量到达被试面部的光照强度, 确定被试距离光疗仪和电脑的距离。每组被试均在清晨 8 点-10 点接受 1 小时的高照度环境光照, 在光照时间达到 30min 和 60min 时, 让被试观看选自国际情绪图片系统 (International Affective Picture System, IAPS) 的愉快、不愉快和中性图片各 20 张, 要求被试只需要根据自己的理解判断图片所反映的情绪状态, 每张图片呈现前设置 1000ms 的注视点, 图片呈现时间为 1000ms, 记录观看时的脑电数据。其余时间所有被试均阅读相同的中性纸质材料。

4.3 实验结果

4.3.1 脑电数据预处理

脑电数据由 MATLAB 扩展工具箱 EEGLAB 进行预处理。首先, 删除原始数据中存在明显伪迹的数据, 以双侧乳突电极点为离线转参考; 将带通滤波设置为 0.1Hz-30Hz (Butterworth 过滤器, 斜率为 24dB/oct); 然后, 利用独立成分分析 (independent component analysis, ICA) 去除眼电伪迹; 最后排除电压超过 $\pm 85 \mu V$ 的异常试次, 选取刺激呈现前 200ms 到刺激消失后 800ms 的数据段进行分析。

4.3.2 LPP 成分分析

根据以往关于情绪的 EEG 研究, 我们根据脑半球 (左、中、右) 和脑区 (前、中、后) 的位置将头皮区域划分为九个主要的兴趣区 (Regions of Interest, ROI)。具体来说, 这九个兴趣区包括左前 (F7, F5, F3, FT7, FC5, FC3), 中前 (F1, Fz, F2, FC1, FCz, FC2), 右前 (F4, F6, F8, FC4, FC6, FT8), 左中 (T7, C5,

C3, TP7, CP5, CP3), 中中 (C1, Cz, C2, CP1, CPz, CP2), 右中 (C4, C6, T8, CP4, CP6, TP8), 左后 (P7, P5, P3, PO7, PO3, O1), 中后 (P1, Pz, P2, Poz, Oz), 以及右后 (P4, P6, P8, PO4, PO8, O2) [91]。

对九个兴趣区的的晚期正电位 (late positive potential, LPP) 平均振幅进行的重复测量方差分析结果显示 (描述统计结果见表 4.1):

光照强度的主效应显著 ($F(2, 71) = 4.82, p < 0.05, \eta^2_p = 0.09$)。事后比较结果显示: 光照强度为 4000lx 时 ($4.86 \pm 5.68 \mu V$) LPP 波幅显著高于光照强度为 6000lx 时 ($2.83 \pm 5.02 \mu V$) ($t = 3.11, p = 0.01$)。

光照强度与兴趣区的交互作用显著 ($F(16, 592) = 3.22, p < 0.001, \eta^2_p = 0.06$)。事后比较结果显示: 光照强度为 4000lx 时, 左中 ($t = 2.81, p = 0.02$)、左前 ($t = 3.18, p = 0.01$)、中中 ($t = 3.01, p = 0.01$)、中前 ($t = 3.56, p < 0.01$)、右中 ($t = 3.42, p < 0.01$)、右前 ($t = 3.55, p < 0.01$) 兴趣区的 LPP 波幅显著大于光照强度为 6000lx 时。

时间主效应显著 ($F(1, 71) = 20.10, p < 0.001, \eta^2_p = 0.18$)。事后比较结果显示: 30 分钟强光照引起的 LPP 振幅 ($3.45 \pm 5.80 \mu V$) 显著低于 60 分钟强光照引起的 LPP 振幅 ($4.15 \pm 6.03 \mu V$) ($t = -4.48, p < 0.001$)。

时间与兴趣区的交互作用显著 ($F(8, 568) = 15.17, p < 0.001, \eta^2_p = 0.14$)。事后比较结果显示: 在顶叶和额叶区域, 30 分钟强光照引起的左后 ($t = -3.52, p < 0.01$)、左中 ($t = -2.90, p < 0.01$)、中后 ($t = -4.94, p < 0.001$)、中中 ($t = -6.59, p < 0.001$)、中前 ($t = -3.74, p < 0.01$)、右中 ($t = -6.35, p < 0.001$)、右前 ($t = -3.76, p < 0.01$) 脑区的 LPP 波幅显著低于 60 分钟强光照。

此外, 三者之间的三重交互作用不显著 ($F(16, 1136) = 0.43, p > 0.05$)。

LPP 平均波形图与地形图见图 4.1, 图 4.2。

表 4.1 LPP 成分描述性统计表

光照强度	光照时间			
	30min		60min	
	平均值 <i>M</i>	标准差 <i>SD</i>	平均值 <i>M</i>	标准差 <i>SD</i>
2000lx	3.60	3.66	4.02	3.99
4000lx	4.44	5.03	5.28	5.09
6000lx	2.42	4.37	3.24	4.56

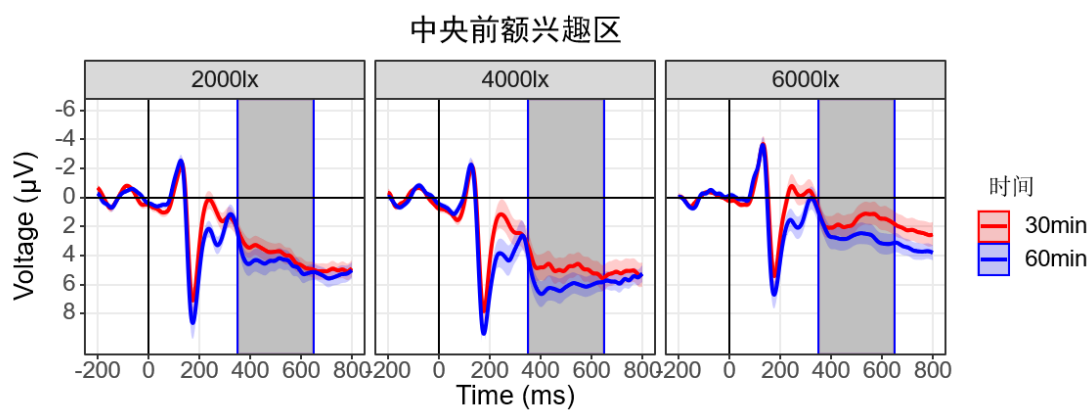


图 4.1 三种光照强度下 LPP 平均波形图

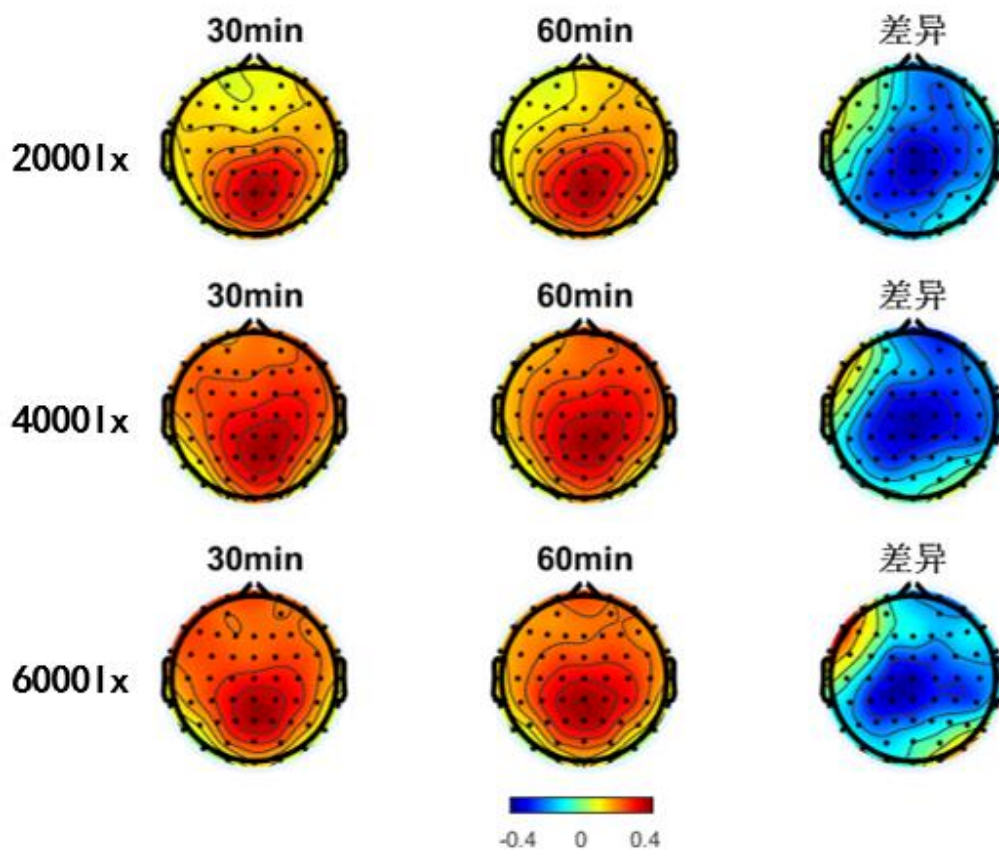


图 4.2 三种光照强度下 LPP 平均地形图及差异

4.3.3 情绪量表配对样本 t 检验

配对样本 t 检验结果显示,光照后焦虑、抑郁自评量表的得分均显著降低($p<0.001$)。具体结果见表4.2。

表4.2 光照前后情绪量表得分的配对样本 t 检验结果

	光照前	光照后	t	p
焦虑	49.03±3.08	46.00±3.06	5.862	<.001
抑郁	48.60±3.80	43.03±5.76	6.404	<.001

4.4 实验讨论

4.4.1 高强度环境光照对处理情绪刺激时 LPP 振幅的影响

本研究选取的三种高照度光照条件(2000lx、4000lx、6000lx)会显著影响大脑处理情绪刺激时的 LPP 振幅,通过比较不同光照强度下 LPP 振幅的变化特点发现,光照强度为 4000lx 时,情绪刺激引发的大脑皮层晚正电位振幅会显著高于照度为 2000lx 和 6000lx 时,这与实验 1 中光照对心率变异性的影响特征相同,即三种照度条件下的光照都会对情绪的生理指标产生影响,但 4000lx 照度的影响最为显著和稳定。LPP 作为反映情绪变化的重要生理指标,能够灵敏地体现出环境光照的照度和时长对情绪状态的影响。

在光照时间方面,相同照度条件下,LPP 振幅会随着光照时间的延长而增大。高照度的环境光首先被人眼感知到,然后视神经将信号率先传递到负责处理视觉信息的大脑枕叶区域,因此在接受光照的前期,大脑后侧枕叶区域 LPP 振幅明显高于其他脑区,随后内在光敏感性神经节细胞 ipRGCs 将光照信号传递到海马和杏仁核^{[15]、[16]}、扣带回皮层^[17]、前额叶皮层等负责情绪处理和认知调整的大脑区域,因此在接受光照的后期,大脑皮层中前区域的 LPP 振幅呈现出增大的趋势和特点,且因光照时间不同而导致的差异主要出现在与情绪加工密切相关的中央顶区及前额部分区域。

总的来说,强光照射能够显著提高面对情绪刺激时大脑皮层晚期正电位的振幅,对不同脑区的影响时间不同,LPP 振幅呈现出从后向前的差异变化,并且在中央顶区位置的差异最为显著。光照时长 60min 时 LPP 振幅显著大于 30min 时,4000lx 是一个能够显著且稳定提高 LPP 振幅的光照强度。

4.4.2 LPP 振幅变化与情绪状态的关系

在丰富的 ERPs 成分中, LPP 被认为是人脑进行情绪加工时进行资源分配的最稳健、最可靠的成分^[54], 是情绪变化的重要指标, LPP 振幅增大会伴随着情绪的改善, 在一项结合 ERP 和 fMRI 的研究中表明, 情绪刺激引起的 LPP 大小与枕叶、顶叶区域的血流量增加相对应^[59], 本研究得到的结果也印证了这一点, 通过人眼输入的视觉情绪刺激会在大脑皮层的枕叶、中央顶叶区域引起明显的 LPP 振幅变化。大脑皮层由额叶、顶叶、颞叶、枕叶四个部分组成, 其中, 额叶与决策、思维、记忆等高级认知功能存在密切相关, 前额叶皮层在情绪调节与认知改变的过程中发挥着必不可少的作用^[91], 相比于个体的认知变化, LPP 体现出的是大脑面对情绪刺激时最早出现的自动化反应^[63], 本研究中, 面对情绪刺激时 LPP 振幅在前额叶皮层差异显著, 且 60min 的强光照射要比 30min 的强光照射对大脑皮层中前区域 LPP 振幅的影响显著, 结合实验结束后被试 SAS、SDS 问卷自我报告得分较光照前显著降低, 消极情绪明显改善, 可以表明, LPP 振幅在观测情绪变化时具有较高的时间分辨和灵敏度, LPP 振幅增大可以有效预测情绪变化。

5 总讨论

5.1 高强度环境光照对心率变异性和晚期正电位的影响

研究发现,实验组的时域指标 HRV-SDNN、HRV-RMSSD、HRV-PNN50,频域指标 HRV-LF、HRV-HF 在光照后较对照组均呈现显著差异,这说明相比于普通的室内光照强度,高强度的环境光照能够显著提高被试的心率变异性。心率变异性作为反映自主神经系统状态的重要指标^[64],其信号的大小能够直接体现交感神经与迷走神经的活性及协调性,高强度环境光照条件下,心率变异性各项指标显著提高说明自主神经系统整体平衡性得到改善,调节情绪状态和压力水平的能力提高。在光照时间达到 30 分钟时,高强度环境光照就能够有效提高心率变异性,当光照时间达到 60 分钟时,不同的照度对 HRV 的影响会存在差异。照度为 2000lx 时 HRV 需要更长的时间才能产生显著提高,光照时间 30 分钟以后,HRV 才能得到整体改善,60 分钟时效果最好,因此如果时间充足,那么采用 2000lx 的光照强度比较有利于改善情绪状态;照度为 4000lx 时,强光照射对 HRV 的影响最为持续且稳定,光照时间达到 30 分钟时,心率变异性就能够得到显著提高,因此 4000lx 可以作为一个有效的中照度,可以较好地平衡光照强度和时间对情绪的影响;照度为 6000lx 时,HRV 的提高速度最快,在光照 15 分钟时就开始出现显著变化,但随着光照时间的延长,HRV-RMSSD、HRV-LF 会呈现出下降趋势,因此不宜暴露在 6000lx 照度的环境下过长时间。

晚期正电位(LPP)反映的是情绪刺激引起的动态觉醒水平^[59],高强度环境光照条件下,大脑处理情绪刺激时全脑 LPP 平均振幅显著增大,大脑皮层不同区域的 LPP 振幅呈现出不同的变化特点,主要是从后向前变化,大脑皮层后侧枕叶区域 LPP 振幅率先出现明显增大,随后中央顶叶、前额区域的 LPP 振幅才显著提高,且光照强度和时间不同会导致大脑皮层中前脑区的 LPP 振幅存在明显差异。这是因为大脑是通过人眼接受到视觉刺激,所以最先发生变化的是枕叶区域,随后视神经节细胞 ipRGCs 将视觉信号传递到皮层下动机系统(如杏仁核)和前额叶皮层^{[51]、[52]}等对情绪进行加工和处理的脑区,因此不同光照强度下大脑皮层中前区域的 LPP 振幅存在显著差异。本研究选取的 LPP 段早期

(350-650ms) 在顶叶、枕叶区域具有良好的脑电情绪分辨性^[50], 强光照射后大脑皮层后侧以及中前脑区的 LPP 振幅显著增大, 说明高照度的环境光照能够提高该脑区的情绪唤醒程度, 从而提高人脑对情绪刺激的识别速度, 在 60min 的光照时间内, 时间越长大脑的唤醒程度越高, 对情绪刺激的认知和调整能力越好。

5.2 高强度环境光照对大学生情绪状态的影响

分析光照前后被试的情绪量表得分可以发现, 接受 60 分钟强光照射后的大学生情绪状态较光照前有了显著改善, 且明显好于低照度环境下的大学生。2000lx 的光照强度可以整体改善大学生负性情绪状态, 但对于焦虑、抑郁情绪的减少不明显, 结合心率变异性的变化特点分析, 2000lx 的照度可能需要更长的时间才能更好地缓解焦虑和抑郁情绪。4000lx 的光照强度不仅能够整体减少大学生的消极情绪体验, 而且对于缓解焦虑和抑郁状态的效果非常明显, 心率变异性和晚期正电位的变化也证实了这一点, 不论是情绪变化的生理证据还是被试的自我报告都证明了 4000lx 的照度对大学生的情绪状态有着积极的改善作用。6000lx 的光照强度可以有效缓解大学生的抑郁情绪状态, 这进一步证明了强光照射不仅对于单双相抑郁障碍、季节性抑郁障碍的治疗效果显著^{[26]·[65]}, 而且对于缓解普通大学生的抑郁情绪体验也有良好的效果, 但是 6000lx 的照度不能够有效改善大学生的焦虑情绪。因此本研究为高强度环境光照对情绪的影响提供了心率变异性和脑电证据, 进一步证实了光照的情绪效应, 丰富了测量情绪变化的生理指标, 同时结合实验对象的自我报告, 证明了主观感受与生理变化的一致性, 将研究对象从情绪障碍人群拓展到大学生群体, 关注普通大学生的情绪状态, 提供了一种在消极情绪出现早期就能对其有效干预的方法, 有助于大学生心理健康的维护与提高。

6 结论与展望

6.1 研究结论

(1) 2000lx、4000lx、6000lx 的光照强度都能够有效提高心率变异性和 LPP 振幅,但不同照度需配合不同的光照时间。照度为 2000lx 时,时间越长效果越好,本研究中发现的最佳时长为 45min-60min;照度为 4000lx 时,环境光照对心率变异性和 LPP 振幅的提高作用最为稳定且显著,本研究中发现的最佳时长为 30min-60min;照度为 6000lx 时,神经生理指标的变化速度最快,但随着光照时间的增长其变化特点不稳定且呈现下降趋势,本研究中发现的最佳时长为 15min-30min。

(2) 强光照射可以显著改善大学生的情绪状态,尤其是对于负性情绪的改善作用明显,60min 的晨间强光照射可以有效减少大学生的焦虑、抑郁情绪,增加正性情绪体验。2000lx 的照度就能够对大学生情绪状态产生积极影响,4000lx 的照度对焦虑情绪的缓解更加有效,6000lx 的照度则能够显著改善抑郁情绪。

6.2 研究局限与展望

6.2.1 研究局限

(1) 只选取了心率变异性中具有代表性的典型指标进行测量分析,没有分析其他指标的变化特点,因此对高照度环境下心率变异性的变化特点可能分析得不全面、不详尽。

(2) 只选取了 2000lx、4000lx、6000lx 三种照度与对照组进行比较,虽然证实了高强度光照对心率变异性和情绪的改善作用,但没有与更低的照度条件相比较,因此未发现光照强度发挥作用的关键节点。

(3) 选取事件相关电位(ERPs)中的晚期正电位(LPP)作为情绪变化的脑电指标,只关注了大脑皮层的电信号变化,缺乏对皮下结构的观测,空间分辨率低。

6.2.2 展望

(1) 对光源和实验时间的设置应更加多样,通过调整光的波长、色温、实验时间(早、中、晚)等因素,在一天中的不同时间采取不同照度和色温的光照是否会对心率变异性和情绪产生不同的影响,增加对环境光照的应用时间和光照特点的选择,更加全面地探究环境光照对情绪的影响,丰富其应用范围才能更好地发挥其积极作用。

(2) 对光照强度的设置需涵盖更低和更高的照度,增加更低的照度条件,以此探究光照影响心率变异性和情绪的照度转折点;增加更高的照度条件,以此探究光照的情绪效应从正向转为负向的转折点,为更加精准高效地发挥高照度环境光照的积极作用提供依据。

(3) 以普通大学生为研究对象,拓展了高强度环境光照的实际应用范围,为大学生改善情绪问题,提高心理健康水平提供了一种新颖有效的方法,但目前国内高校对于环境光照的重视程度还不够,室内教学环境普遍照度较低,且没有特定的场所创造高照度的光照环境,在以后的心理健康工作中需加强对大学生日常学习环境中光照的改善,并增加光疗设备,为大学生提供良好的学习环境和高效的心理健康帮助。

参考文献

- [1] Alkozei A, Smith R, Killgore W D S. Exposure to blue wavelength light modulates anterior cingulate cortex activation in response to ‘uncertain’ versus ‘certain’ anticipation of positive stimuli[J]. Neuroscience Letters, 2016, 616: 5–10.
- [2] Beckers F, Verheyden B, Aubert A E. Aging and nonlinear heart rate control in a healthy population[J]. American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology, 2006, 290(6): H2560-2570.
- [3] Benedetti F, Colombo C, Pontiggia A, et al. Morning light treatment hastens the antidepressant effect of citalopram: a placebo-controlled trial[J]. The Journal of Clinical Psychiatry, 2003, 64(6): 648–653.
- [4] Bijleveld E, Knufinke M. Exposure to bright light biases effort-based decisions[J]. Behavioral Neuroscience, 2018, 132(3): 183–193.
- [5] Billman G E. Heart rate variability - a historical perspective[J]. Frontiers in Physiology, 2011, 2: 86.
- [6] Bogen S, Legenbauer T, Bogen T, et al. Morning light therapy for juvenile depression and severe mood dysregulation: study protocol for a randomized controlled trial[J]. Trials, 2013, 14(1): 178.
- [7] Bunting M, Chan W, Brand A, et al. Intraperitoneal chemotherapy for advanced epithelial ovarian malignancy: lessons learned[J]. The Australian & New Zealand Journal of Obstetrics & Gynaecology, 2009, 49(6): 667–671.
- [8] Cassano P, Cusin C, Mischoulon D, et al. Near-infrared transcranial radiation for major depressive disorder : proof of concept study [J]. Psychiatry J, 2015: 352979.
- [9] Davidson R J, Jackson D C, Kalin N H. Emotion, plasticity, context, and regulation: Perspectives from affective neuroscience.[J]. Psychological Bulletin, 2000, 126(6): 890–909.
- [10] Dennis T A, Hajack G. The late positive potential: a neurophysiological marker for emotion regulation in children[J]. 2009.
- [11] Dimitriev D A, Saperova E V, Indeykina O S, et al. Heart rate variability in mental stress: The data reveal regression to the mean[J]. Data in Brief, 2019, 22: 245–250.

- [12] Esaki Y, Kitajima T, Obayashi K, et al. Daytime light exposure in daily life and depressive symptoms in bipolar disorder: A cross-sectional analysis in the APPLE cohort[J]. *Journal of Psychiatric Research*, 2019, 116: 151–156.
- [13] Figueiro M G, Steverson B, Heerwagen J, et al. The impact of daytime light exposures on sleep and mood in office workers[J]. *Sleep Health*, 2017, 3(3): 204–215.
- [14] Fisher P M, Madsen M K, Mc Mahon B, et al. Three-Week Bright-Light Intervention Has Dose-Related Effects on Threat-Related Corticolimbic Reactivity and Functional Coupling[J]. *Biological Psychiatry*, 2014, 76(4): 332–339.
- [15] Gallin P F, Terman M, Remé C E, et al. Ophthalmologic examination of patients with seasonal affective disorder, before and after bright light therapy[J]. *American Journal of Ophthalmology*, 1995, 119(2): 202–210.
- [16] Geoffroy P A, Schroder C M, Reynaud E, et al. Efficacy of light therapy versus antidepressant drugs, and of the combination versus monotherapy, in major depressive episodes: A systematic review and meta-analysis[J]. *Sleep Medicine Reviews*, 2019, 48: 101213.
- [17] Golden R N, Gaynes B N, Ekstrom R D, et al. The efficacy of light therapy in the treatment of mood disorders: a review and meta-analysis of the evidence[J]. *The American Journal of Psychiatry*, 2005, 162(4): 656–662.
- [18] Gu Q, Hu Q-C, Wei Y-L, et al. Emotion regulation effect of baduanjin on college students: A pilot event-related potential study on late positive potential[J]. *World Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2021, 7(4): 408.
- [19] Hattar S, Kumar M, Park A, et al. Central projections of melanopsin-expressing retinal ganglion cells in the mouse[J]. *The Journal of Comparative Neurology*, 2006, 497(3): 326–349.
- [20] Hattar S, Liao H-W, Takao M, et al. Melanopsin-Containing Retinal Ganglion Cells: Architecture, Projections, and Intrinsic Photosensitivity[J]. *Science*, 2002, 295(5557): 1065–1070.
- [21] Huang L, Xi Y, Peng YF, et al. A visual circuit related to habenula underlies the antidepressive effects of light therapy[J]. *Neuron*, 2019, 102(1): 128–142.
- [22] Huiberts L M, Smolders K C H J, de Kort Y a. W. Shining light on memory: Effects of bright light on working memory performance[J]. *Behavioural Brain Research*, 2015, 294: 234–245.

- [23] Jean-Louis G, Kripke D, Cohen C, et al. Associations of ambient illumination with mood: Contribution of ophthalmic dysfunctions[J]. *Physiology & Behavior*, 2005, 84(3): 479–487.
- [24] Jiang L, Zhang S, Wang Y, et al. Efficacy of light therapy for a college student sample with non-seasonal subthreshold depression: An RCT study[J]. *Journal of Affective Disorders*, 2020, 277: 443–449.
- [25] Jiang, X., Gossack-Keenan, K., & Pell, M. D. (2020). To believe or not to believe? How voice and accent information in speech alter listener impressions of trust. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 73(1), 55-79.
- [26] Kaida K, Takahashi M, Haratani T, et al. Indoor exposure to natural bright light prevents afternoon sleepiness[J]. *Sleep*, 2006, 29(4): 462–469.
- [27] Kaida K, Takahashi M, Haratani T, Otsuka Y, Fukasawa K, Nakata A. Indoor exposure to natural bright light prevents afternoon sleepiness[J]. *Sleep* 2006,29: 462–469.
- [28] Kleiger R E, Miller J P, Bigger J T, et al. Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction[J]. *The American Journal of Cardiology*, 1987, 59(4): 256–262.
- [29] Koenig J, Kemp A H, Beauchaine T P, et al. Depression and resting state heart rate variability in children and adolescents - A systematic review and meta-analysis[J]. *Clinical Psychology Review*, 2016, 46: 136–150.
- [30] Kreibig S D. Autonomic nervous system activity in emotion: A review[J]. *Biological Psychology*, 2010, 84(3): 394–421.
- [31] Kuang D, Cui L, Kuang S, et al. Effect of gender-related depression on heart rate variability during an autonomic nervous test[J]. *Psychiatry Research*, 2019, 272: 258–264.
- [32] Kupfer R A, Merati A L, Sulica L. Medialization laryngoplasty for odyphonia[J]. *JAMA otolaryngology-- head & neck surgery*, 2015, 141(6): 556–561.
- [33] Lam R W, Levitt A J, Levitan R D, et al. Efficacy of Bright Light Treatment, Fluoxetine, and the Combination in Patients With Nonseasonal Major Depressive Disorder: A Randomized Clinical Trial[J]. *JAMA psychiatry*, 2016, 73(1): 56–63.
- [34] LeGates T A, Altimus C M, Wang H, et al. Aberrant light directly impairs mood and learning through melanopsin-expressing neurons[J]. *Nature*, 2012, 491(7425): 594–598.

- [35] LeGates T A, Fernandez D C, Hattar S. Light as a central modulator of circadian rhythms, sleep and affect[J]. Nature Reviews Neuroscience, 2014, 15(7): 443–454.
- [36] LeGates T A, Fernandez D C, Hattar S. Light as a central modulator of circadian rhythms, sleep and affect[J]. Nature Reviews. Neuroscience, 2014, 15(7): 443–454.
- [37] Leger D, Bayon V, Elbaz M, et al. Underexposure to light at work and its association to insomnia and sleepiness[J]. Journal of Psychosomatic Research, 2011, 70(1): 29–36.
- [38] Leichtfried V, Mair-Raggautz M, Schaeffer V, et al. Intense illumination in the morning hours improved mood and alertness but not mental performance[J]. Applied Ergonomics, 2015, 46: 54–59.
- [39] Li Y, Ru T, Li S, 等. Effects of ambient light on mood and its mechanism[J]. Advances in Psychological Science, 2022, 30(2): 389.
- [40] Lopez J P, Fiori L M, Gross J A, et al. Regulatory role of miRNAs in polyamine gene expression in the prefrontal cortex of depressed suicide completers[J]. 2014, 17(1): 23-32.
- [41] Loving R T, Kripke D F, Elliott J A, et al. Bright light treatment of depression for older adults [J]. BMC Psychiatry, 2005, 5(1): 41.
- [42] Loving R T, Kripke D F, Knickerbocker N C, et al. Bright green light treatment of depression for older adults [ISRCTN69400161][J]. BMC Psychiatry, 2005, 5(1): 42.
- [43] Meriggiola M C, Jannini E A, Lenzi A, et al. Endocrine treatment of transsexual persons: an Endocrine Society Clinical Practice Guideline: commentary from a European perspective[J]. European Journal of Endocrinology, 2010, 162(5): 831–833.
- [44] Meriggiola M C, Jannini E A, Lenzi A, et al. Endocrine treatment of transsexual persons: an Endocrine Society Clinical Practice Guideline: commentary from a European perspective[J]. European Journal of Endocrinology, 2010, 162(5): 831–833.
- [45] Michelle N.Shiota, James W.Kalat, 周仁来. 情绪心理学[M]. .
- [46] Minassian A, Maihofer A X, Baker D G, et al. Association of Predeployment Heart Rate Variability With Risk of Postdeployment Posttraumatic Stress Disorder in Active-Duty Marines[J]. JAMA psychiatry, 2015, 72(10): 979–986.
- [47] Mitchell R L C, Phillips L H. The psychological, neurochemical and functional neuroanatomical mediators of the effects of positive and negative mood on executive functions[J]. Neuropsychologia, 2007, 45(4): 617-629

- [48] Mure L S, Vinberg F, Hanneken A, et al. Functional diversity of human intrinsically photosensitive retinal ganglion cells[J]. Science, 2019, 366(6470): 1251–1255.
- [49] Ozkan A, Arik A C. Side effects related to light therapy in seasonal affective disorder[J]. The American Journal of Psychiatry, 1994, 151(5): 784.
- [50] Pail G, Huf W, Pjrek E, et al Bright-light therapy in the treatment of mood disorders[J]. Neuropsychobiology, 2011, 64(3): 152–162.
- [51] Partonen T, Lönnqvist J. Bright light improves vitality and alleviates distress in healthy people[J]. Journal of Affective Disorders, 2000, 57(1–3): 55–61.
- [52] Pavlenko V B, Chernyi S V, Goubkina D G. EEG correlates of anxiety and emotional stability in adult healthy subjects[J]. Neurophysiology, 2009, 41(5): 337–345
- [53] Prayag A S, Jost S, Avouac P, et al. Dynamics of Non-visual Responses in Humans: As Fast as Lightning?[J]. Frontiers in Neuroscience, 2019, 13: 126.
- [54] Ru T, Li Y, Qian L, et al. Acute cognitive effect of ambient light exposure and its moderators and underlying mechanism[J]. Advances in Psychological Science, 2019, 27(10): 1687–1702.
- [55] Schmidt T M, Chen S-K, Hattar S. Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells: many subtypes, diverse functions[J]. Trends in Neurosciences, 2011, 34(11): 572–580.
- [56] Sit D K, McGowan J, Wiltout C, et al. Adjunctive Bright Light Therapy for Bipolar Depression: A Randomized Double-Blind Placebo-Controlled Trial[J]. The American Journal of Psychiatry, 2018, 175(2): 131–139.
- [57] Smolders K C H J, de Kort Y A W, Cluitmans P J M. A higher illuminance induces alertness even during office hours: Findings on subjective measures, task performance and heart rate measures[J]. Physiology & Behavior, 2012, 107(1): 7–16.
- [58] Smolders K C H J, de Kort Y A W. Bright light and mental fatigue: Effects on alertness, vitality, performance and physiological arousal[J]. Journal of Environmental Psychology, 2014, 39: 77–91.
- [59] Sung-Nien Yu null, Shu-Feng Chen null. Emotion state identification based on heart rate variability and genetic algorithm[J]. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference, 2015, 2015: 538–541.

- [60] Takeshima M, Utsumi T, Aoki Y, et al. Efficacy and safety of bright light therapy for manic and depressive symptoms in patients with bipolar disorder : a systematic review and meta-analysis [J]. *Psychiatry ClinNeurosci*, 2020, 74 (4): 247-256.
- [61] Terman J S, Terman M, Schlager D, et al. Efficacy of brief, intense light exposure for treatment of winter depression[J]. *Psychopharmacology Bulletin*, 1990, 26(1): 3–11.
- [62] Thayer J F, Ruiz-Padial E. Neurovisceral integration, emotions and health: An update[J]. *International Congress Series*, 2006, 1287: 122–127.
- [63] Tseng P-T, Chen Y-W, Tu K-Y, et al. Light therapy in the treatment of patients with bipolar depression: A meta-analytic study[J]. *European Neuropsychopharmacology*, 2016, 26(6): 1037–1047.
- [64] Valderas M T, Bolea J, Laguna P, et al. Human emotion recognition using heart rate variability analysis with spectral bands based on respiration[J]. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference*, 2015, 2015: 6134–6137.
- [65] Vandewalle G, Maquet P, Dijk D-J. Light as a modulator of cognitive brain function[J]. *Trends in Cognitive Sciences*, 2009, 13(10): 429–438.
- [66] Vandewalle G, Schwartz S, Grandjean D, et al. Spectral quality of light modulates emotional brain responses in humans[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010, 107(45): 19549–19554.
- [67] Wang L, Wu Q, Choi A W-M. Negative Emotions as Risk Factors for Self-Directed Violence and Intimate Partner Violence in Chinese College Students[J]. *Journal of Interpersonal Violence*, 2020, 35(19–20): 3886–3912.
- [68] Wirz-Justice A, Schmid A C, Graw P, et al. Dose relationships of morning bright white light in seasonal affective disorders (SAD)[J]. *Experiment*, 1987, 43(5): 574–576.
- [69] Yoshiike T, Honma M, Yamada N, et al. Effects of bright light exposure on human fear conditioning, extinction, and associated prefrontal activation[J]. *Physiology & Behavior*, 2018, 194: 268–276.
- [70] Zhu Y, Yang M, Yao Y, et al. Effects of Illuminance and Correlated Color Temperature on Daytime Cognitive Performance, Subjective Mood, and Alertness in Healthy Adults[J]. *Environment and Behavior*, 2019, 51(2): 199–230.

- [71] 陈大艳.老年住院患者焦虑抑郁现状及其心率变异性的相关研究[D]. 川北医学院, 2021.
- [72] 程伶俐,马亚荣.抑郁症光疗参数选择的研究现状[J]. 国际精神病学杂志,2023,50(4):608-611.
- [73] 翟文海, 张琼, 胡卫, 等. 新冠肺炎疫情发生前后中国大学生焦虑症状及相关因素的 meta 分析[J]. 中国心理卫生杂志, 2022, 36(7): 626–631.
- [74] 翟文海, 张琼, 闫俊. 新冠肺炎疫情前后中国大学生抑郁症状检出率及相关因素的 Meta 分析[J]. 中国学校卫生, 2022, 43(7): 1055–1060.
- [75] 董海俊.心率变异性指标在运动员专注力评估中的应用[D]. 上海师范大学, 2022.
- [76] 郭景诗, 乔晓艳. 基于 ECG 和 HRV 特征提取的情绪状态分析[J]. 测试技术学报, 2021, 35(3): 216–223.
- [77] 李苏东.基于深度学习和诱发脑电的室内环境舒适度评价方法研究[D].青岛大学,2023.
- [78] 李一平, 张杲阳, 陈润坚. 新冠疫情后大学生抑郁情绪的调查研究与对策探讨[J]. 心理月刊, 2022, 17(23): 207–216.
- [79] 李芸,汝涛涛,李丝雨,等. 环境光照对情绪的影响及其作用机制[J]. 心理科学进展, 2022, 30(2): 389–405.
- [80] 刘迪, 鞠文静, 李婷. 大学生焦虑、抑郁状况对其健康危险行为的影响[J]. 哈尔滨医科大学学报, 2022, 56(2): 182–187.
- [81] 刘荣娟. 基于呼吸和心电信号的情绪识别研究[D]. 山东大学, 2021.
- [82] 刘艳丽,许远理.情绪、情绪调节的 ERPs 晚正成分研究进展 [J].心理研究,2012,5(5):14-18.
- [83] 刘正杰,周小娟.奖赏正波和晚期正电位联合预测抑郁倾向基于 ERP 的研究 [J].心理科学,2023,46(4):980-990.
- [84] 潘宇翔, 陈军. 大学生负性情绪现状及影响因素探析[J]. 大学, 2022(563): 11–14.
- [85] 王凤,焦凯强.基于晚期正电位的脑电情绪识别.[J].科学技术与工程, 2016,16(3):147-151.
- [86] 王蜜源,韩芳芳,刘佳,等.大学生抑郁症状检出率及相关因素的 meta 分析[J]. 中国心理卫生杂志, 2020, 34(12): 1041–1047.
- [87] 王莎莎.基于负反馈回路的个性化光疗方法研究与应用[D].兰州大学,2023.
- [88] 王婷婷,马雨涵.大学生焦虑 抑郁状态下心率变异性特点的分析[J]. 校园心理, 2019, 17(3): 177–179.
- [89] 翁梓珏,周波. 抑郁症患者加工情绪面孔的心率变异性研究[J]. 实用医院临床杂志, 2022, 19(3): 131–133.

- [90] 谢晶, 方平, 姜媛. 情绪测量方法的研究进展[J]. 心理科学, 2011, 34(2): 488–493.
- [91] 张晨阳, 杨钰隆, 李泉晗, 等. 中国大学生焦虑症状检出率的 Meta 分析[J]. 心理月刊, 2022, 17(12): 1–4.
- [92] 张迪, 万柏坤, 明东. 基于生理信号的情绪识别研究进展[J]. 生物医学工程学杂志, 2015, 32(1): 229–234.
- [93] 张嘉卉, 王德清, 庄郁馨. 新冠肺炎疫情下大学生常见的情绪问题及应对策略研究[J]. 大学, 2021(13): 137–139.
- [94] 朱卓妍, 张一, 甘虹, 等. 大学生抑郁焦虑症状与新冠肺炎风险感知关联研究[J]. 中国健康教育, 2022, 38(2): 145–149.

附 录

一、PANAS 情绪量表

指导语：请你根据现在的真实感受作答，每个描述情绪的词后面有 5 个选项，1 几乎没有，2 比较少，3 中等，4 比较多，5 非常多。答案无好坏对错之分，一定根据你当下的真实感受选择。

感兴趣的

心烦的

精神活力高的

心神不宁的

劲头足的

内疚的

恐惧的

敌意的

热情的

自豪的

易怒的

警觉性高的

害羞的

备受鼓舞的

紧张的

意志坚定的

注意力集中的

坐立不安的

有活力的

害怕的

二、SAS 焦虑自测量表

指导语：下面有 20 条文字,请仔细阅读每一条,把意思弄明白,然后按照自己最近一周以来的实际情况进行选择。①很少=没有或很少时间,②有时=少部分时间,③经常=相当多时间,④持续=绝大部分或全部时间。

1. 觉得比平常容易紧张和着急
2. 无缘无故地感到害怕
3. 容易心里烦乱或觉得惊恐
4. 觉得可能要发疯
5. 觉得一切都很好,也不会发生什么不幸
6. 手脚发抖打颤
7. 因为头痛、头颈痛和背痛而苦恼
8. 感觉容易衰弱和疲乏
9. 觉得心平气和,并且容易安静地坐着
10. 觉得心跳得很快
11. 因为一阵阵头晕而苦恼
12. 有晕倒发作,或觉得要晕倒似的
13. 吸气呼气都感到很容易
14. 手脚麻木和刺痛
15. 因为胃痛和消化不良而苦恼
16. 常常要小便
17. 手常常是干燥温暖的
18. 脸红发热
19. 容易入睡并且睡得很好
20. 做噩梦

三、SDS 抑郁自测量表

指导语：下面有 20 条文字, 请仔细阅读每一条, 把意思弄明白, 然后按照自己最近一周以来的实际情况进行选择。①很少=没有或很少时间, ②有时=少部分时间, ③经常=相当多时间, ④持续=绝大部分或全部时间。

我觉得闷闷不乐, 情绪低沉

我觉得一天之中早晨最好

我一阵阵地哭出来或者觉得想哭

我晚上睡眠不好

我吃的跟平常一样多

我与异性密切接触时和以往一样感到愉快

我觉得我的体重在下降

我有便秘的烦恼

我心跳比平时快

10、我无缘无故感到疲乏

11、我的头脑跟平常一样清楚

12、我觉得做以前经常做的事并没有困难

13、我觉得不安而平静不下来

14、我对将来抱有希望

15、我比平常容易激动

16、我觉得做出决定是容易的

17、我觉得自己是个有用的人, 有人需要我

18、我的生活过得很有意思

19、我认为如果我死了别人会生活得好些

20、平常感兴趣的事我仍然感兴趣