

# 基于心理生理测量方法的座椅舒适性评价研究

韩宇翊<sup>1</sup>, 贾玉岭<sup>1</sup>, 李维亮<sup>1</sup>, 赵静<sup>2</sup>

(1.北京工业大学, 北京 100124; 2.中国电子科学研究院, 北京 100041)

**摘要:**目的 探究在座椅舒适性评价中,皮电反射(Electrodermal Activity, EDA)、心率变异性(Heart Rate Variability, HRV)以及瞳孔直径等数据是否与用户主观舒适性存在显著关联关系。方法 通过设计实验,自变量为两种不同的座椅,因变量为 EDA、HRV、瞳孔直径以及用户对于座椅舒适性的主观评价,使用 SPSS 统计分析软件对实验数据做独立样本 t 检测等,分析其相关性。结果 就坐于两种不同座椅的被试瞳孔直径变化存在差异性显著(方差齐,  $t_{0.05}(27)=-2.718, p<0.05$ ),其皮电反射 EDA 与心率变异 HRV 的检测结果为差异性不显著。结论 在基于心理生理测量方法的座椅舒适性评价研究中,瞳孔指标相对敏感,且与主观评价相关性强,一定条件下可以使用瞳孔数据协同优化座椅舒适度评价;暂无充分证据支持皮电反射和心率变异性与座椅舒适性存在显著关联。此外,应用眼动追踪等心理生理测量方法,可以在一定程度上反向指导座椅的改良与设计。

**关键词:**舒适度评价;心理生理测量;眼动分析;皮电反射;心率变异性

中图分类号:TB472 文献标识码:A 文章编号:1001-3563(2020)06-0150-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.06.023

## Seat Comfort Evaluation Based on Psycho-physiological Measurement Method

HAN Yu-hong<sup>1</sup>, JIA Yu-ling<sup>1</sup>, LI Wei-liang<sup>1</sup>, ZHAO Jing<sup>2</sup>

(1.Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2.China Academy of Electronics and Information Technology, Beijing 100041, China)

**ABSTRACT:** The work aims to study whether EDA (electrodermal activity), HRV (heart rate variability), pupil diameter and other statistics have a notable correlation on user subjective comfort during the seat comfort evaluation. Through designing experiments, the independent variables were two different seats, and the dependent variables were EDA, HRV, pupil diameter and the user's subjective evaluation of seat comfort. SPSS statistical analysis software was used to conduct independent sample *t*-test on experimental data and analyze the correlation. There was significant difference in pupil diameter between the two groups of subjects sitting in different types of seats (variance of the two samples was equal,  $t_{0.05}(27)=-2.718, p<0.05$ ), and no significant difference was found in the results of skin electrical reflex and heart rate variation. In the study of seat comfort evaluation based on psycho-physiological measurement method, the pupil index is relatively sensitive and highly correlated with subjective evaluation. Under certain conditions, the pupil data can be used to cooperatively optimize seat comfort evaluation. There is no sufficient evidence to support that there is a significant correlation between skin reflexes and heart rate variability and seat comfort. In addition, the application of eye tracking and other psycho-physiological measurement methods can reverse guide the improvement and design of seats to a certain extent.

**KEY WORDS:** comfort evaluation; psycho-physiological measurement; pupil diameter; electrodermal activity; heart rate variability

剧场座椅是观剧活动中与人体直接接触的产品,其舒适度直接影响观众的观影体验,因此其舒适性是

收稿日期: 2019-12-03

基金项目: 文化和旅游部纵向课题(X6035001201901)

作者简介: 韩宇翊(1972—),女,吉林人,硕士,北京工业大学副教授,主要研究方向为工业设计、可持续与低碳设计。

通信作者: 贾玉岭(1993—),男,河北人,北京工业大学研究生,主攻工业设计人机工程。

设计时应考虑的重点。舒适性体验是用户在使用产品过程中形成的主观感受,很难完全实现统一的尺度和标准<sup>[1]</sup>。剧场座椅的舒适性受到诸多因素的影响,仅凭单一的物理量难以准确评价,须采用多种方法测量与评价。观众在观剧过程中,如座椅舒适则一般不会产生疲劳感,反之,在不舒适时会增加自身的疲劳感,影响观众收获良好的观剧体验。在一定程度上讲,剧场座椅的舒适性和使用者的疲劳状态具有较强的相关性。

目前国内外对座椅舒适性评价主要采取主观评价与客观评价的方法<sup>[2]</sup>,其中主观评价如量表评分、通用舒适度尺度(General Comfort Rating, GCR)等。客观评价的方式多种多样,如体压分布测量、皮肤肌电测量等。Dannion R. Smith 等使用不舒适性取代舒适性作为评价的方式改良主观评价问卷,建立了座椅的不舒适性问卷 ASDQ (Automotive Seating Discomfort Questionnaire),综合归纳了影响座椅舒适性的因素<sup>[3]</sup>。叶哲维等应用界面压力感测实验、灰关联分析方法建立了舒适性评价模型<sup>[4]</sup>。尚凯等运用瞳孔检测方法,通过检测被试在两款座椅上的瞳孔尺寸振荡幅度、频谱能量值差异和瞳孔直径尺寸变化,探讨两款座椅之间舒适度的差别,分析视觉感知和使用感知是否具有 consistency<sup>[5]</sup>。对疲劳测定方法,目前国内外主要研究方法为检测生理指标<sup>[6]</sup>,如脑电、心电、肌电信号。夏岚等通过非介入式的生理参数的监测,评估被试疲劳,提出可以运用 EDA、HR (Heart Rate) 和 HRV 的检测方式,对人体疲劳进行有效监测<sup>[7]</sup>。Mittler 等提出疲劳测定方法应从生理学特征出发,具备方便、快捷、非侵入及可以重复测定等特点<sup>[8]</sup>。眼动测量方法在一定程度上具有非侵入、快速、可重复的优势。谢伟、辛向阳等提出基于眼动测试的产品无意识认知评估方法<sup>[9]</sup>。丛晓妍等使用眼动分析方法,根据瞳孔数据实施傅里叶变换及统计分析,可以发现伴随着被试的作业难度及作业时长增加,疲劳感随之增加,瞳孔直径随之波动并呈缩小趋势,得出舒适性与疲劳度存在显著的相关性<sup>[10]</sup>。

本文通过多种客观生理数据的测定协同主观心理感受评价,用以优化座椅舒适性评价的可行性。以疲劳程度的测定来评价外界环境中的舒适性,通过结合测量与疲劳相关的客观生理数据与主观感受评价来协同分析,探究座椅的舒适性程度。具体内容为开展实验,研究主观评价、瞳孔直径、皮电反射以及心率变异性等与疲劳之间的对应关系,以在座椅舒适性评价时关联性显著的客观生理数据作为参考指标,从而在评价、设计应用方面提供理论依据。

## 1 实验原理

瞳孔大小由虹膜内环状分布的作用相反的瞳孔括约肌与瞳孔开大肌控制,受交感神经和副交感神经

支配<sup>[11]</sup>。疲劳状态时,交感神经被抑制,瞳孔开大肌失去主导作用,瞳孔括约肌开始兴奋,导致瞳孔缩小<sup>[12]</sup>。皮电反射 EDA 是依据被试情绪唤醒度等因素引起皮肤表面汗腺的电传导能力的变化,常用于情绪唤醒度实验测量,在心理学领域是使用得最为广泛的生理信号指标<sup>[13]</sup>。心率变异性 HRV 可描述自主神经系统交感神经与副交感神经分支的传出活动引起的心率波动变化,在条件控制下可用于评价脑力疲劳状态<sup>[14]</sup>。

在一定条件下,被试的瞳孔尺寸与疲劳具有很强的相关性,会随着自身的疲劳减小且有起伏。通过瞳孔直径的测定可以检测出被试的疲劳状态,推断出被试所处环境的舒适性。与此同时,采用控制变量方法,在实验中控制被试所处环境中的变量,使不同的座椅充当唯一的自变量,比较分析各个变量(瞳孔直径、EDA、HRV、主观评价)的关系,得出客观数据与座椅舒适性之间的关系。

## 2 实验方法

### 2.1 实验对象与安排

实验志愿者三十名,年龄在 19~26 岁,男女比例为 1:1。所有实验被试的裸眼视力或矫正后视力均高于 5.0 (标准对数视力表, GB11533-89),均视域正常,不存在斜视、色盲或色弱等问题,无睡眠障碍,实验前一晚保证不低于八小时的睡眠时间(且不晚于 22:00 入睡),保证充足睡眠,避免饮用任何含酒精或咖啡因的饮料。

被试随机分为两组,每组十五人,实验共分三天完成,每天随机选取每组五人进行实验。实验前采集瞳孔数据、静息状态心率及皮电基线作为基准数据,随后第一组被试就坐座椅 A 进行实验任务,第二组就坐座椅 B 进行相同实验任务操作。

### 2.2 实验设备和环境

Tobii Pro X2 桌面型眼动仪(瑞典 Tobii 公司生产,长度 184mm (7.2 英寸));可穿戴无线生理记录 EDA、HRV 模块(北京津发科技股份有限公司研发生产);ErgoLab 3.0 人机环境同步平台;软硬程度不同的两种实验座椅(浙江大丰座椅有限公司订制生产);17 英寸 Terrans Force 笔记本电脑 (Windows 10 操作系统);Logitech 桌面型摄像头。

其中,实验座椅 A,相对较硬(泡棉密度为  $60 \text{ kg/m}^3$ );座椅 B,相对较软(泡棉密度为  $45 \text{ kg/m}^3$ ),两种座椅见图 1,除泡棉密度与椅面衬布颜色外,其余均相同,为车间同一批次生产装配,检验合格。

在纯照明环境下开展实验(普通室内光线, 700 lx),无阳光变化干扰;实验环境保持安静,背景噪声在 20 分贝以下,温湿度基本恒定,避免外界条件对生理反应的影响。



图1 实验座椅 A (a), 座椅 B (b)  
Fig.1 Experimental seats A (a) and B (b)

### 2.3 实验设置

使用 EDA、HRV 生理监测记录模块分别测定被试者皮电、心率等信号;使用 Tobii Pro X2 眼动仪测定被试瞳孔直径等眼动数据;使用问卷结合访谈获取被试的主观感受信息。

EDA 监测模块采用干电极接触式,统一配戴于被试左手食指与中指的指肚部位;HRV 监测模块同样采用干电极接触式,夹戴于被试左耳耳垂部位;监测信号通过 WiFi 无线传输至传感器接收端。在 ErgoLab 3.0 软件中检测指间皮电与耳间脉搏信号是否正常接收,校准后,被试以舒适姿态放置手臂与手部,实验时保持不动。

Tobii Pro X2 眼动仪设置采样频率为 60 Hz,其余参数为系统默认设置,通过原装附带的吸附式安装支架安装在实验笔记本电脑屏幕边框正下方,实验中调整座椅到被试头部与眼动仪中对中位置,且头部距离眼动仪 65±5 cm 处(在监测软件中出现绿色边框区域,即最佳检测距离与位置),分别校准每个被试瞳孔中心点位置,校准后保持实验中头部不动。调整摄像头记录实验影像,并采集被试者生理数据。

问卷采取 1~5 分的五点计分方法,要求被试就座椅舒适度(整体感觉)、座椅不同位置舒适度(坐垫、靠背与扶手部位)、疲倦程度、对刺激材料是否感兴趣等问题作出回答。问卷填写完毕后,安排被试进行访谈,询问并记录被试实验中身体和心理状态等信息。

### 2.4 实验采集过程

实验前对被试进行任务培训,宣讲操作须知。在被试明晰任务要求后,安排被试坐于座椅上(一组被试就坐于座椅 A,另一组被试就坐于座椅 B),按实验设置要求配戴生理监测模块并校准瞳孔位置等信号。

首先采集 3 min 被试静息基准数据,随后被试浏览笔记本电脑屏幕播放的图片,图片素材均为 1600×900 像素,色彩柔和的风景摄影,共计一百张。每张图片浏览间隔 6 s,共计 20 min 循环播放 2 次,并以 5 min

进行时间分段,记录数据。

生理指标收集结束后,被试填写主观评价问卷,询问实验状态,安排访谈并记录。

## 3 实验结果分析

### 3.1 主观实验部分

针对座椅舒适性的主观评价,实验采用 Hollies 五级标尺<sup>[15]</sup>作为主观评价标准,将主观舒适的感受状态划分为五个等级,分别为很不舒适、较不舒适、中等舒适、较舒适、非常舒适,对应采用整数 1~5 进行表示,Hollies 五级主观评价标尺见图 2。分别采集被试对座椅的整体舒适度评分,与对座椅坐垫、靠背、扶手三个不同位置的舒适度评分。

被试完成客观实验数据采集后,填写主观评价表,对实验中就坐座椅的整体舒适性进行主观评分,两组被试的主观评价评分(整体舒适性)见表 1。经初步计算分析,其中 A 组平均分为 3.6,高于 B 组的平均分 3.07;A 组众数为 4,高于 B 组的众数 3;A 组中位数为 4,高于 B 组的中位数 3。由此可见,在

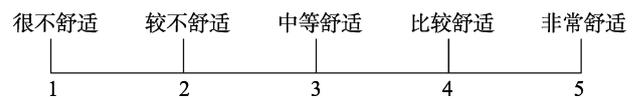


图2 Hollies 五级主观评价标尺

Fig.2 Hollies five-level subjective evaluation scale

表 1 两组被试的主观评价评分(整体舒适性)

Tab.1 Subjective evaluation scores of the two groups of subjects (overall comfort)

Group A		Group B	
Sample number	Comfort Scoring	Sample number	Comfort Scoring
1	4	1	4
2	4	2	3
3	3	3	4
4	4	4	3
5	4	5	4
6	4	6	3
7	4	7	3
8	3	8	3
9	3	9	3
10	4	10	3
11	3	11	2
12	3	12	3
13	4	13	3
14	3	14	2
15	4	15	3
Mean	3.60	3.07	
Median	4	3	
Mode	4	3	

一定程度上，A 座椅的整体舒适性高于 B 座椅。为检验实验数据是否具有统计学意义，将主观舒适性评分汇总导入 SPSS 软件进行正态分布检验，发现数据不符合正态分布，因此采用非参数检验处理。

使用 Mann-Whitney U 检验判断被试 A 组和 B 组对于座椅舒适度评价是否有差异，结果显示 A 组与 B 组的接受度评分差异具有统计学意义 ( $U=61.5, Z=-2.388, p=0.033<0.05$ )。

将被试对两把座椅不同位置的舒适度主观评分进行分析整理，见图 3。座椅 A 坐垫平均分 3.87 高于座椅 B 坐垫平均分 3.13；座椅 A、B 的扶手位置平均得分为 2.8、2.87；靠背位置的平均得分为 3.6、3.53。初步分析，由于两款座椅中填充泡棉的密度不同，所以导致被试对于坐垫位置的舒适感受有较大差异；由于座椅扶手完全一致，因此未导致被试的舒适感受存在较大差异，只因个体差异造成了微小评分偏差；对靠背位置的平均评分偏差微小，均处于中等偏上舒适程度，可能由于靠背设计合理，对被试部位支撑良好，虽然填充泡棉密度不同，但未造成舒适感受上的较大差异。与被试进行访谈，综合得到以下信息：座椅 A 坐垫回弹较好，对臀、腿部的支撑较好；座椅 B 坐垫回弹较差，支撑感较差，就坐时坐垫容易被压陷，因此会感到不适；座椅靠背比较贴合人体坐姿曲度，对腰、背部的支撑较好，舒适感良好。

对存在较大差异的坐垫舒适性评分数据进行正态分布检验，发现符合正态分布，使用独立样本 t 检验，结果为两样本方差相等， $t_{0.05}(28)=3.454, p=0.002<0.05$ ，在统计学意义上具有显著性差异；对靠背与扶手部位的评分数据统计检验结果均不具有显著差异。这在一定程度上表明，座椅坐垫部位填充泡棉的密度

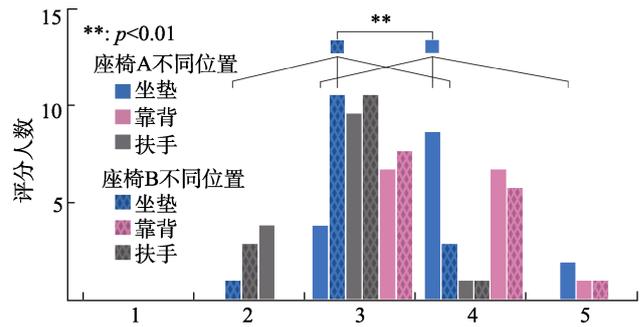


图 3 被试对座椅不同位置的舒适度评分与统计分析  
Fig.3 Comfort scoring and statistical analysis of seats in different positions

差异对被试的主观舒适感受具有较大影响，基本与访谈信息一致。

### 3.2 客观实验部分

采集到 A、B 两组各十五组数据，每组中包含被试的 EDA、HRV 以及瞳孔直径等眼动数据。将数据采集时间分时段处理，具体划分为：0~3 min 为静息基准线数据采集阶段；3~8 min 为第一段 5 min；8~13 min 为第二段 5 min；13~18 min 为第三段 5 min；18~23 min 为第四段 5 min，以及实验结束关闭部分。

对初始数据在 ErgoLab 3.0 软件中分段进行 Process，去噪处理后将瞳孔直径、皮电以及心率数据分别导出进行进一步细化处理。同时，将被试对实验刺激材料（屏幕浏览的图片素材）的眼动热点图导出整理，辅助分析。

#### 3.2.1 瞳孔直径

将瞳孔直径导出到 Excel 软件，整理两组被试在实验前 5 min 与实验的最后 5 min 的瞳孔直径，见表 2。

表 2 两组被试前 5 分钟与后 5 分钟的瞳孔直径  
Tab.2 Pupil diameter in the first 5 minutes and the last 5 minutes of the two groups of subjects

Sample number (A&B)	Group A		Group B	
	The first 5 minutes	The last 5 minutes	The first 5 minutes	The last 5 minutes
	(Mean±Std)			
	mm			
1	3.134±0.415	3.020±0.477	3.416±0.415	3.020±0.477
2	3.459±0.627	3.442±0.719	2.571±0.264	2.561±0.234
3	4.180±0.403	4.087±0.501	4.331±0.474	4.399±0.479
4	2.621±0.240	2.773±0.692	3.973±0.556	3.533±0.489
5	3.423±0.491	3.266±0.143	3.657±0.327	3.471±0.303
6	3.487±0.394	3.209±0.587	4.152±0.492	3.830±0.426
7	3.501±0.389	3.197±0.455	4.921±0.346	4.537±0.277
8	5.088±0.318	4.901±0.384	4.043±0.433	3.478±1.029
9	3.112±0.292	3.245±0.319	3.949±0.275	3.469±0.771
10	3.774±0.418	3.832±0.497	3.994±0.554	2.469±1.153
11	3.964±0.356	4.060±0.420	3.312±0.304	3.252±0.447
12	3.202±0.296	3.507±0.414	4.307±0.371	4.034±0.411
13	3.684±0.408	3.550±0.558	3.269±0.291	2.989±0.493
14	3.640±0.301	3.720±0.282	4.581±0.482	4.663±0.452
15	3.771±0.372	3.743±0.453	4.149±0.658	3.255±0.696

分别计算 A、B 两组的瞳孔直径平均值,得到两组被试的瞳孔变化趋势,见图 4,平均处理后的 A、B 两组被试瞳孔直径,在实验中变化趋势有相似性,均在实验开始的前段时间有上升趋势,随后达到峰值,然后开始下降,其中 A 组平均下降速率低于 B 组。有先行研究<sup>[10]</sup>表明,在实验初期,被试处于一个新鲜的实验环境,对被动接受的工作处于一种适应阶段,会有随着适应程度增高,工作效率提高的现象。因此,被试的瞳孔直径在实验中会大体分为两个阶段,首先是上升阶段,可以称为“刺激唤醒区”。随后,由于工作或刺激的持续进行,被试开始感到疲劳,新鲜感减少,进入“疲劳期”阶段。

对以上现象,与被试进行访谈,得到一致的结果。被试表示,在实验中,对刺激材料均不感兴趣,初始阶段对电脑屏幕上展示的风景照片有感到新鲜,随后疲惫感产生,丧失对刺激材料的新鲜感,结果与先行研究<sup>[10]</sup>一致。

对 A、B 两组的第一段 5 min 和第四段 5 min 数据求平均值再做差值,显示 A、B 两组的瞳孔直径在实验中均有下降,进而对 A、B 两组的差值在 SPSS 统计分析软件中进行正态分布检验与独立样本 t 检验,结果符合正态分布,检验结果为两样本方差相等,  $t_{0.05}(27)=-2.718$ ,  $p=0.011<0.05$ ,在统计学意义上具有显著差异。

### 3.2.2 眼动热点图

将被试所看图片(浏览屏幕播放的刺激素材)的眼动热点图进行导出。眼动热点图以往经常用来分析评价产品设计形态等视觉要素。综合主观评价以及瞳孔直径数据的分析,两组被试因实验座椅的舒适度不同,瞳孔直径数据的变化也是不同的,且存在一定的对应关系。热点图可展示出被试在刺激材料上的注意力分布情况,因此设想眼动热点图与舒适度也存在一定的对应关系。

为验证设想,对导出的热点图进行处理分析:选择实验时间 T1(7:54~8:00)与 T2(17:54~18:00)刺激素材的热点图(考虑到存在的“刺激唤醒区”、“疲劳区”,刺激图片素材一百张循环两次,T1为第五十张图片第一次播放,T2为第五十张图片第二次播放,以此减小实验初期存在的“新鲜感”的影响),对两组被试的热点图分别进行有效视觉热点叠加,得到 A-T1、A-T2、B-T1、B-T2,两组被试不同时间眼动热点图变化情况见图 5。

通过 A-T1 与 A-T2、B-T1 与 B-T2 各自的纵向对比,发现随着实验的进行,被试的热点区域发生明显变化,被试的注意力均明显下降,热点区域变小,对关注点的关注时间变短。由于是同一张刺激图片,不排除是由重复展示造成上述情况,因此对被试进行二次访谈来验证,被试表示存在重复刺激因素所带来的注意力下降,但重复刺激中间的间隔时间较长,削弱

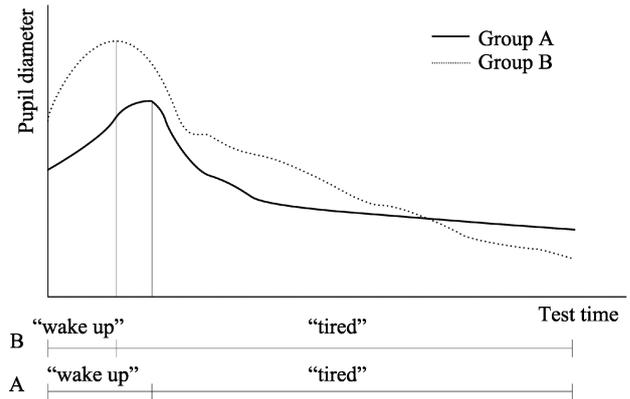


图 4 两组被试在实验中平均瞳孔直径的变化趋势

Fig.4 Trends of average pupil diameter in two groups of subjects

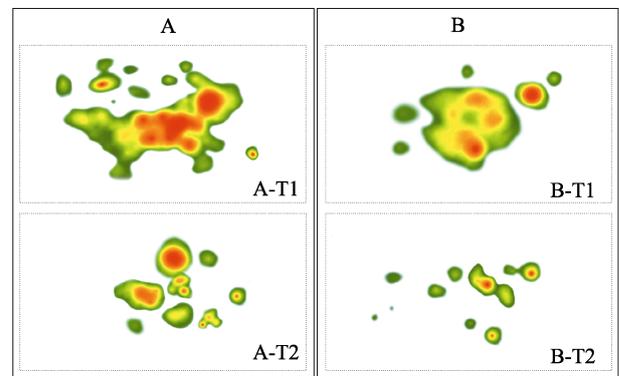


图 5 两组被试不同时间眼动热点图变化情况

Fig.5 Changes of eye movement hotspot maps in two groups of subjects at different time

了重复刺激造成的影响,造成自身注意力下降主要是由于疲劳因素造成。

通过 A-T1 与 B-T1、A-T2 与 B-T2 各自的横向对比,表明在实验进行的过程中,在两个相同的时间节点时,A 组被试的注意力比 B 组更集中;若设定初始注意力大致相同,则 A 组被试的注意力下降速度缓于 B 组。

综合上述横、纵对比与座椅舒适度主观评价,一定程度上可以推测由于座椅 A 舒适度优于座椅 B,使被试产生疲劳的速度更缓慢,因此相同时间内产生的疲劳程度更低,可用以舒适度的辅助分析。

### 3.2.3 EDA 与 HRV

将 EDA 和 HRV 数据导入 SPSS 软件,分别对 A、B 两组的第一段 5 min 与第四段 5 min 数据求平均值并求出差值,对 A、B 两组的差值做正态分布检验,结果均符合正态分布,随后作 A、B 组间独立样本 t 检验。

其中 EDA 结果两样本方差相等,  $t_{0.05}(28)=0.669$ ,  $p=0.509>0.05$ , HRV 的结果为两样本方差相等,  $t_{0.05}(13)=1.724$ ,  $p=0.109>0.05$ ,均不具有统计学意义上的显著差异。此外,EDA、HRV 的平均值显示,在整个实验过程中 A 组有所下降,而 B 组在上升,对此

现象将在讨论部分进行分析。

## 4 变量关系的讨论

### 4.1 舒适度与瞳孔直径的关系

两组被试的座椅舒适度主观评价存在显著差异,瞳孔直径的变化亦存在显著差异。主观感受评价中,座椅 A 舒适性优于座椅 B;瞳孔直径的客观数据测量中,座椅 A 被试的瞳孔直径下降晚于并缓于座椅 B 被试。可以推论,在不同座椅充当实验环境的唯一变量时,舒适性相对更好的座椅 A 可以让被试达到(开始感知到)疲劳状态的时间更长,或在相同时间状态下,座椅 A 的被试疲劳状态低于座椅 B 被试,符合先行研究结果<sup>[5]</sup>。根据实验结果,可以证明在一定条件下,被试对不同舒适性座椅的主观感受与其瞳孔直径的变化具有关联性。当人产生疲劳感受时,瞳孔直径会波动减小;在相同工作强度或者刺激下,舒适性好的座椅可以延缓人体疲劳的产生以及瞳孔直径下降的速度。换言之,舒适性好的座椅可以减轻疲劳的程度,使瞳孔直径的变化值减小。

与此同时,在设定两款实验座椅时,将座椅软硬程度(填充泡棉密度)作为最主要的不同点,协同主、客观分析可得出座椅的舒适性创新性评价结果是由座椅的软硬程度的不同而造成的,进而可间接指导设计改良,科学地指导座椅设计生产时软硬程度的选择。通过变换实验变量(如设置座椅仅扶手不同,其他相同,聚焦扶手与舒适性的关联程度),开展延展实验,可以更加全面地辅助座椅的设计改良并加以验证,具有广泛的意义。

在本次实验研究中,仍存在一定的局限性,本次实验可以表明,硬度较高的座椅 A 舒适度优于座椅 B,可以说明座椅中坐垫的软硬因素会对座椅舒适度产生较大的影响,在设计时候要充分考虑坐垫软硬程度因素。然而,不能因此定论硬度越大舒适性越好,本次实验座椅有限,只能得出座椅 A、B 坐垫的软硬程度和与之相对应的舒适性的关系。在未来开展的实验中,还须增加座椅数量,通过多种软硬梯度的坐垫座椅来综合对比,得出更加明确的对应关系,如最适合的坐垫软硬程度区间、临界值等,针对性地指导设计与产品特征的决策。

### 4.2 舒适度与 EDA、HRV 的关系

在实验分析中,存在 A 组 EDA、HRV 的平均趋势为下降而 B 组为上升的现象。而张杭、李宏汀在服装面料热湿舒适度的研究中表明,皮电数据敏感与舒适性主观评价差异性显著,而心率不敏感<sup>[16]</sup>。为探究 A、B 组产生不符先行研究<sup>[16]</sup>结果的原因,进一步分析问卷及访谈内容,其中 B 组被试中个别存在产生急躁现象(认为座椅 B 的舒适性较差,而在实验中须保持不动,因此产生了急躁情绪)。有先行研究<sup>[17]</sup>表明,

EDA、HRV 和心理情绪具有显著的相关性,急躁会导致 EDA、HRV 波动上升。B 组中产生急躁情绪的被试 EDA 和 HRV 存在波动上升现象,与先行研究<sup>[17]</sup>结果一致。另外,有先行研究表明,瞳孔直径与心理情绪也具有显著的相关性,正常状态下,人在积极、轻松、愉悦情绪下瞳孔直径会大于情绪平静时<sup>[18]</sup>。反之,在疼痛刺激等引起的消极情绪影响下,其瞳孔直径会小于情绪平静时<sup>[19]</sup>。在 B 组中,产生急躁情绪的被试的 EDA 与 HRV 上升,但瞳孔直径仍减小,与 Bradshaw D H<sup>[19]</sup>等人的研究相符。疲劳与急躁情绪均可能影响到被试的瞳孔直径变化,导致其下降。李艾、刘铁刚等在情绪状态与瞳孔大小的研究中表明,在愉快、平静、焦虑及急躁四种状态中,急躁情绪导致的瞳孔直径变化程度较弱;而愉快情绪下的被试组瞳孔尺寸与变化程度和平静组、焦虑组相比较,均具有显著性差异( $p < 0.01$ ),具有统计学意义,而与急躁组比较,则无明显差异<sup>[20]</sup>。因此猜测,被试的瞳孔直径变化主要是疲劳产生的无意识生理反映,而并非急躁情绪。

为验证猜测是否合理,将 B 组产生急躁情绪的两名被试的数据作为异常数据进行剔除处理,重新与 A 组进行正态分布检验,结果符合正态分布,进行独立样本 t 检验,验证结果为两样本方差相等, $t_{0.05}(25) = -2.371$ , $p = 0.026 < 0.05$ ,仍具有显著差异,符合设想。另外,对剔除异常数据后的 EDA、HRV 重新作检验。EDA 检验结果为两样本方差相等, $t_{0.05}(25) = 0.444$ , $p = 0.661 > 0.05$ ,HRV 检验结果为两样本方差不相等, $t_{0.05}(23) = 1.373$ , $p = 0.194 > 0.05$ ,均仍未得出显著差异。

在实验中,HRV 数据不敏感符合先行研究结果,EDA 数据并未与先行研究取得一致的结果<sup>[20]</sup>,或许是因为被试在采集数据时,信号噪音过大,或被试不足的原因。今后的研究还须增加样本数量,在可行范围内缩短实验时间来减少被试因心理波动等造成的干扰。

## 5 结语

以往对于座椅舒适度的设计与评价研究主要从人机工学、主观评价等方面来开展,具有一定的局限性。而眼动、皮电、心率变异等生理行为,与大脑的认知活动密切相关,反映了外界刺激对生理、心理的影响。通过基于心理与生理测量交织优化、优势互补的实验程序与方法,对座椅舒适性主观感受与瞳孔直径、EDA 及 HRV 客观生理数据的相关性进行探讨,同时对眼动热点图进行相关的辅助分析,主要得出以下结论:(1)座椅舒适性与瞳孔直径变化存在显著的相关性;(2)座椅软硬程度的不同(填充泡棉密度等因素造成),对座椅舒适度有较大的影响,设计时要充分考虑到填充物的软硬因素;(3)眼动热点图可反映注意力与疲劳程度,与座椅舒适性存在一定的相关性。

应用眼动追踪等生理心理测量的舒适性创新评价方法,可以探寻座椅舒适性评价的参考指标,协同优化以往的舒适度评价检验。此外,在产品设计中,重点考虑椅面的软硬特征,能够有效地提升其舒适度,对指导产品的设计改良与科学决策具有良好的现实意义。

#### 参考文献:

- [1] 陈焯. 浅谈用户体验在产品可用性设计过程中的意义[J]. 艺术教育, 2018, 327(11): 216-217.  
CHEN Ye. On the Significance of User Experience in the Process of Product Usability Design[J]. Art Education, 2018, 327(11): 216-217.
- [2] 曹志伟, 李娟. 轨道车辆座椅舒适度评价方法及研究展望[J]. 包装工程, 2017, 38(2): 21-25.  
CAO Zhi-wei, LI Juan. Evaluation Method and Research Prospect of Seat Comfort for Railway Vehicles[J]. Packaging Engineering, 2017, 38 (2): 21-25.
- [3] SMITH R D, ANDREWS M D, WAWORW T P. Development and Evaluation of the Auto Motiveseating Discom for Tquestionnaire(ASDQ)[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2006, 36(2): 141-149.
- [4] YE Zhe-wei. The Comfort Study and Evaluation Model on Children Car Safety Seat Using Grey Relate Danalysis Method[D]. Tainan: National ChengKung University, 2001.
- [5] 尚凯, 罗婧, 王震亚. 基于瞳孔检测的座椅舒适度评价研究[J]. 林业工程学报, 2019, 4(2): 152-157.  
SHANG Kai, LUO Jing, WANG Zhen-ya. Seat Comfort Evaluation Based on Pupil Detection[J]. Journal of Forestry Engineering, 2019, 4(2): 152-157.
- [6] 李增勇, 焦昆, 陈铭, 等. 汽车驾驶员驾驶过程中的心率变异性功率谱分析[J]. 中国生物医学工程学报, 2003, 22(6): 574-576.  
LI Zeng-yong, JIAO Kun, CHEN Ming, et al. Power Spectrum Analysis of Heart Rate Variability during Driving[J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2003, 22 (6): 574-576.
- [7] 夏岚, 王见荣, 梁妃学, 等. 基于生理信号的精神疲劳评估[J]. 南方医科大学学报, 2012, 32(6): 870-873.  
XIA Lan, WANG Jian-rong, LIANG Fei-xue, et al. Mental Fatigue Assessment Based on Physiological Signals[J]. Journal of Southern Medical University, 2012, 32(6): 870-873.
- [8] MITLER M M, MILLER J C. Methods of Testing for Sleeplessness[J]. Behavioral Medicine, 1996, 21(4): 171-183.
- [9] 谢伟, 辛向阳, 丁静雯. 基于眼动测试的产品人机界面交互设计研究[J]. 机械设计, 2015(12): 110-115.  
XIE Wei, XIN Xiang-yang, DING Jing-wen. Research on Human-Machine Interface Interaction Design Based on Eye Movement Testing[J]. Mechanical Design, 2015(12): 110-115.
- [10] 丛晓妍, 王增才, 徐俊凯, 等. 瞳孔测量法应用于疲劳检测的适应性[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2015(6): 135-140.  
CONG Xiao-yan, WANG Zeng-cai, XU Jun-kai, et al. Pupil Measurement Applied to Fatigue Detection[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2015(6): 135-140.
- [11] SZABADI E, BRADSHAW C M. Autonomic Pharmacology of  $\alpha$ 2-adrenoceptors[J]. Psychopharmacol, 1996, 10(3): 6-18.
- [12] 郭程程. 认知选择过程中心理疲劳对瞳孔大小的影响[D]. 西安体育学院, 2012.  
GUO Cheng-cheng. The Effect of Mental Fatigue on Pupil Size in Cognitive Selection[D]. Xi'an Institute of physical education, 2012.
- [13] BOUCSEIN W. Electrodermal Activity[M]. United States: Springer, 2012.
- [14] 李延军, 严洪, 杨向林, 等. 基于心率变异性的精神疲劳的研究[J]. 中国生物医学工程学报, 2010, 29(1): 1-6.  
LI Yan-jun, YAN Hong, YANG Xiang-lin, et al. Study of Mental Fatigue Based on Heart Rate Variability [J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2010, 29(1): 1-6.
- [15] 陆丽娅, 张辉. 服装热湿舒适性评价指标及方法概述[J]. 纺织科技进展, 2014(4): 58-61.  
LU Li-ya, ZHANG Hui. An Overview of Evaluation Indexes and Methods of Clothing Thermal and Wet Comfort [J]. Progress in Textile Science and Technology, 2014(4): 58-61.
- [16] 张杭, 李宏汀. 基于生理测量法的服装面料热湿舒适性用户体验探索研究[J]. 消费导刊, 2015(9): 277.  
ZHANG Hang, LI Hong-ting. Exploratory Research on User Experience of Thermal and Wet Comfort of Clothing Fabrics Based on Physiological Measurement[J]. Consumption Guide, 2015 (9): 277.
- [17] 葛燕, 陈亚楠, 刘艳芳, 等. 电生理测量在用户体验中的应用[J]. 心理科学进展, 2014, 22(6): 959-967.  
GE Yan, CHEN Ya-nan, LIU Yan-fang, et al. Application of Electrophysiological Measurement in User Experience [J]. Progress in Psychological Science, 2014, 22(6): 959-967.
- [18] BLACKBURN K, SCHIRILLO J. Emotive Hemispheric Differences Measured in Real-Life Portraits Using Pupil Diameter and Subjective Aesthetic Preferences[J]. Brain Res, 2012, 219(4): 447-455.
- [19] BRADSHAW D H, CHAPMAN C R, JACOBSON R C, et al. Effects of Music Engagement on Responses to Painful Stimulation[J]. The Clinical Journal of Pain, 2012, 28(5): 418-427.
- [20] 李艾, 刘铁刚, 席玲, 等. 正常人群的情绪状态与瞳孔大小的关系[J]. 眼科新进展, 2013, 33(11): 1075-1077.  
LI Ai, LIU Tie-gang, XI Ling, et al. The Relationship Between Emotional State and Pupil Size in Normal Population[J]. New Progress in Ophthalmology, 2013, 33(11): 1075-1077.