

国内职业疲劳检测的实验室研究设计概述

王琪如, 杨志欣, 李华亮, 刘羽中, 沈雅利, 熊超琳

(广东电网有限责任公司电力科学研究院/广东电网公司职业健康安全重点实验室, 广东 广州 510802)

摘要: 职业疲劳检测是职业卫生及职业安全领域长期关注的问题之一。国内对于职业疲劳检测的研究在航天、驾驶和矿业行业较为深入, 多采用实验室研究方法。本文梳理了目前对“疲劳”的定义和分类, 详述目前国内主要的职业疲劳检测实验室研究设计, 并首次提出这些实验室研究设计的一些等效问题, 旨在为今后的实验室研究设计提供更完善的思路 and 更贴近实际生产应用。

关键词: 疲劳; 检测; 实验室设计

中图分类号: R135.99 文献标识码: A 文章编号: 1002-221X(2021)01-0041-03 DOI: 10.13631/j.cnki.zgggyx.2021.01.011

Overview of laboratory research and design for occupational fatigue testing in China

WANG Qi-ru, YANG Zhi-xin, LI Hua-liang, LIU Yu-zhong, SHEN Ya-li, XIONG Chao-lin

(Key Laboratory of Occupational Health and Safety, Guangdong Electric Power Science Academe, Guangzhou 510802, China)

Abstract: Occupational fatigue detection is one of the long-term concerns in the field of occupational health and occupational safety. The domestic research on occupational fatigue detection was more in-depth in aerospace, driving and mining industries, most of these fields used laboratory research methods. This paper firstly combed the current definition of “fatigue” and classification, then detailed the main current domestic laboratory study designs on occupational fatigue testing and proposed the equivalent problem of some laboratory research designs for the first, thereby to provide more perfect ideas and closer to the actual production application for the futural laboratory research design.

Keywords: fatigue; testing; laboratory design

疲劳会使劳动者出现头晕目眩和行动迟缓等生理应激反应, 还会出现注意力和判断能力下降等认知问题, 导致生产事故。“疲劳”这一概念在职业卫生与安全生产领域已被长期关注, 但其定义仍存在着未统一、分类方法混乱的问题。此外, 国内对职业疲劳检测的实验室研究设计趋向固化, 忽略了实验室诱导的疲劳与实际工作中出现疲劳之间的等效问题。本综述通过梳理目前对“疲劳”的定义和分类, 详述目前国内主要的疲劳检测实验室研究设计, 并首次提出这些实验室研究设计的一些等效问题, 旨在为今后的实验室研究设计提供更完善的思路 and 更贴近实际生产应用。

1 定义与分类

1.1 疲劳的定义 主要有以下几种: (1) 指在一定强度的持续工作后, 主观上感觉疲乏无力, 客观上表现为工作能力降低。一般理解职业疲劳, 一种是脑力疲劳, 一种是体力疲劳^[1]。(2) 一种机体和认知功能受到性能疲劳和感知疲劳之间相互作用限制的残疾症状^[2]。(3) 指人在劳动生产过程中逐渐出现不适感、作业能力下降的一种状态。这是作业人员在作业过程中发生的一系列生理、心理变化的结果^[3]。(4)

指随着活动或劳动持续而出现的伴有倦怠困乏和精力下降等特有自觉症状的生理功能低下状态^[4]。综上, 对疲劳的定义达成的共识: 疲劳是一种综合的机体表现, 是机体与心理的综合反映。

1.2 疲劳的分类

1.2.1 急性疲劳与慢性疲劳^[5] 急性疲劳可以通过一次性的休息得到缓解或消失; 慢性疲劳难以通过一次性的休息得到缓解或消除。研究表明, 急性疲劳持续恢复失败与慢性疲劳的演化相关^[6]。慢性疲劳又被称为“慢性疲劳综合征”, 是一种以虚弱性疲劳为特征的复杂症状群, 包括生理、体质和神经心理疾病相关特征^[7]的疾病。

1.2.2 机体疲劳与心理疲劳 机体疲劳一方面是由于氧消耗增大, 机体得不到充分的能量而使肌肉乏力; 另一方面是由于缺氧, 机体产生大量的乳酸在体内累积, 肌细胞的功能受到影响, 肌纤维收缩力下降。心理疲劳是一种因长期高要求的认知活动而引起的一种心理生物学状态^[8]。

1.2.3 机体疲劳、脑力疲劳和心理疲劳^[9] 脑力疲劳指在长时间或高强度的脑力活动后个体感受到疲倦甚至力竭感, 致使其认知和行为绩效下降, 注意力难以集中, 在面对消极结果时难以改变应对策略。其与机体疲劳和心理疲劳的不同在于归类方法不一致, 机体疲劳和心理疲劳认为脑力疲劳属于心理疲劳。

1.2.4 局部疲劳与全身疲劳^[10] 局部疲劳是因长时间运用

基金项目: 电力作业人员健康安全状态智能监护技术研究 (GDKJXM20200484)

作者简介: 王琪如 (1994—), 女, 硕士研究生, 助理工程师, 主要从事电网职业卫生工作。

身体某个部分重复动作导致。全身疲劳是全身活动所致的全身肌肉紧张,不协调。

虽然疲劳的定义尚未统一,分类方法也不尽相同,且尚未弄清机体疲劳与心理疲劳的影响机制,但仍可以总结出疲劳是一种综合的机体表现,在研究疲劳时既要研究机体状态也要研究心理状态。

2 实验室设计

目前国内关于疲劳检测的实验室设计大致可以分为三类:

(1) 通过睡眠剥夺实验方法诱导疲劳,模拟职业疲劳状态。(2) 基于导致疲劳的影响因素,室内模拟劳动环境。例如设计不同环境温度和人员劳动负荷^[11]。(3) 实验室仿真模拟。不易于进行劳动环境直接模拟的特殊工作场所,采用仿真模拟,例如受限空间。前两种实验室设计均以健康人作为被试者,伦理要求严格,通常募集到的志愿者极少,且多为在校学生,身体素质较好,样本不具代表性,不利于数据分析,统计学分析时会产生较大误差,信度较低。

2.1 睡眠剥夺实验 睡眠剥夺指由于各种原因所引起的睡眠缺失状态,并伴有一系列的情绪、学习记忆、免疫功能等改变^[12]。实验室通过睡眠剥夺诱导被试者出现疲劳,通过一些已公认的客观指标判定疲劳是否发生。这些指标包括脑电波(脑电波一直被誉誉为监测疲劳的“金指标”^[13])、心率、心血管负荷、眼睑闭合度及用于测量疲劳的心理测试(注意测验、估计测验、加法运算等)。此外,再结合疲劳自评量表,对疲劳状态加以验证。目前国际公认的疲劳自评量表很多,其中王天芳等^[14]的自评量表依据我国国情制定。该量表能有效区分不同人群(健康人群与几种不同慢病人群)的疲劳特征和程度^[15, 16]。

睡眠剥夺实验的特点:在研究对象方面,征集到的被试者普遍为大学生且人数从几人到几十人不等,这一人群平时从事的体力劳动较少,身体素质较高,是熬夜的主要群体之一;在研究设计方面,被试者除了睡眠以外,允许进行工作学习等活动,但禁止进行剧烈运动和摄入咖啡等提神物质。从上述实验室设计的共性分析总结出有待解决和需注意的问题:(1) 从统计学角度,样本量为几人时不具代表性,加之睡眠剥夺时间长短不同诱导个体疲劳程度不同,若没有足够的样本量误差将会增大。(2) 不同的研究设计中剥夺睡眠的时间长短不同,目前剥夺时间的长短所对应的疲劳状态尚无标准。有研究发现^[3],轮班制工作者中,前夜班和后夜班工作者在下班前几个小时疲劳感达到顶峰后有一个下降的趋势,疲劳是处于波动的状态,睡眠剥夺时间长短与疲劳程度不完全成正比关系。此外,实验过程中,被试者的活动量与实际的工作量不一定等效。因此,诱导疲劳和职业疲劳之间的等效关系存在差异。(3) 剥夺睡眠实验室设计通常会要求被试者受试之前保证充足的睡眠,在良好的精神状态下通过睡眠剥夺诱发疲劳;同时被试者预先知道是实验而心理状态放松。实际的生产活动中,作业人员作业前精神状态存在差异,不一定处于充足睡眠后的状态,且职业疲劳的产生和增长速度

与心理状态相关。因此实验室中模拟的职业疲劳出现的时间与程度与实际工作中的疲劳存在是否等效的问题。

2.2 基于导致疲劳的影响因素模拟劳动环境的实验室设计 导致疲劳的因素很多,如工作环境(人机工效、温度、湿度、噪声等)、工作负荷(工作制、工作量、工作内容等)、身体素质(睡眠质量和时间、疾病史等)等。实验室主要以模拟工作环境为主,如模拟不同的温度、湿度和风量,通过让被试者进行不同的活动以达到模拟劳动状态和疲劳的效果,再以客观指标和疲劳自评量表加以验证。目前多数研究是对客观指标与主观指标的相关性进行统计学分析,被试者多为身体健康的在校大学生^[17-19]。有的研究已参照《体力劳动强度分级》(GB3869—83)中规定的体力劳动强度选取活动及设计活动量,以达到符合实验预期的能量代谢效果^[20],值得借鉴。能量代谢的影响因素很多,包括脑力(精神)活动程度、肌肉活动量和环境舒适与否等。GB3869—83适用以体力活动为主的劳动,能量代谢率除受到环境温度影响外,还受到肌肉活动、精神活动以及摄入食物的特殊动力效应的影响,对于体力与脑力并重的工作,参照GB3869—83规定的体力劳动强度选取活动以及设计活动量是否等效于实际工作中的劳动强度值得探讨。例如电力运维检修人员在工作中损耗的不仅是肌肉活动导致的能量代谢,其高度集中的注意力也会消耗其能量,若实验室采用的是跑步等活动,虽然能量代谢率可以达到预期的效果,但无法模拟实际工作中的紧张程度,也就无法较好地估算实际工作中的疲劳程度。

2.3 实验室仿真模拟 目前基于人体仿真分析的作业疲劳研究普遍应用在作业环境虚拟仿真和驾驶疲劳等日常生活和工作各方面^[21]。采用人体仿真分析进行制造系统中的职业疲劳评价,即是利用人因工程软件通过模拟作业环境,运用人体建模技术对虚拟操作人员进行人因评价,从而对作业现场进行工效学改善^[22]。一个完整的安全人机工效虚拟仿真实验系统可以实现开发虚拟仿真工作场景、呈现虚拟仿真工作场景、虚拟仿真工作环境与人交互、获取和分析试验数据的功能^[23]。虚拟仿真的实验室研究主要分为通过观察法或借用Kinect等摄像工具进行动作研究、对作业姿势进行分解分析、虚拟建模和疲劳分析4个步骤^[21]。虚拟仿真多数用于基于人机工效学的作业疲劳研究,主要针对作业姿势导致的肌肉疲劳。这种研究方法更适用于制造作业,典型作业姿势下作业者腰椎间盘压力和腿部负荷等人体力学作业疲劳指标可以在虚拟仿真系统中分析,但无法分析其他的生理指标。实验室仿真检测疲劳更适合单调动作的制造业以及特殊空间作业的工种,如电力运维等工种,在消耗大量体力的同时也需要精细的操作和准确的判断,检测的疲劳指标不仅要包括生物力学分析,也需要结合其他生理指标进行综合判断,才能相对准确地检测作业人员是否处于疲劳状态。电力行业需要在仿真基础上结合实验室指标,例如肌电信号,建立生物力学与实验室指标之间的相关关系^[24],应用于仿真与生理指标的综合评价。

3 小结

劳动时出现的疲劳状态一种是精力充沛的个体在一次具

体的劳动过程中因工作内容出现的疲劳状态,另一种是个体因休息不足或者生活事件的应激反应导致的疲劳状态。在一次具体的劳动过程中,只要出现了疲劳状态,就应归为职业疲劳。因此,对于职业疲劳的定义应加上在劳动时表现出来的前提。本综述试对劳动疲劳作如下定义:在劳动过程中表现出的机体功能下降和(或)心理倦怠的综合表现。

目前国内关于劳动疲劳的实验室设计兼顾了客观调查和主观调查(问卷等研究方法)方法,使得主观的疲劳感受能够被监测,但是否等效于实际工作时的疲劳状态值得再做深入的调查和研究。在行业应用研究领域,针对不同行业的工种特点,其职业疲劳的表现形式和研究要有所侧重。如制造业的流水线工作人员以机械动作为主,其职业疲劳应以人机工效导致的机体疲劳及单调工作引起的职业倦怠为主。目前关于职业疲劳的研究与应用相对较成熟的是航空和驾驶领域,其他行业应投入更多精力进行针对性研究,确保行业从业人员的职业健康以及生产安全。如电力行业,因用电量巨大^[25],作业人员工作负荷较大,安全事故时有发生,对其有针对性地进行职业疲劳研究迫在眉睫。电力行业工作具有危险性与复杂性的特点,带电作业和调度作业等工作内容无法采用现场实验的方法,更适合采用实验室和仿真等研究方法,并注意实验室与仿真模拟的疲劳与实际职业疲劳之间的等效问题。

参考文献

- [1] 郝兵. 飞行疲劳的成因及应对措施 [J]. 中国民用航空, 2011 (11): 44-46.
- [2] Enoka RM, Duchateau J. Translating fatigue to human performance [J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2016, 48 (11): 2228.
- [3] 郭夏言. 电力企业集控运行员工疲劳问题研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
- [4] 井谷徹, 郎修岭, 姚桢. 劳动职业疲劳的调研方法及其对策 [J]. 日本医学介绍, 2003, 24 (12): 566-568.
- [5] Andrei DM, Griffin MA, Grech M, *et al.* How demands and resources impact chronic fatigue in the maritime industry. The mediating effect of acute fatigue, sleep quality and recovery [J]. *Safety Science*, 2020, 121 (1): 362-372.
- [6] Winwood PC, Winefield AH, Dawson D, *et al.* Development and validation of a scale to measure work-related fatigue and recovery: The occupational fatigue exhaustion/recovery scale (OFER) [J]. *Journal of Occupational & Environmental Medicine*, 2005, 47 (6): 594-606.
- [7] Kant IJ, Bültmann U, Schröer KAP, *et al.* An epidemiological ap-

proach to study fatigue in the working population: The Maastricht cohort study [J]. *Occupational and Environmental Medicine*, 2003, 60 (suppl1): i32-i39.

- [8] Marcora SM, Staiano W, Manning V. Mental fatigue impairs physical performance in humans [J]. *Journal of Applied Physiology*, 2009, 106 (3): 857-864.
- [9] 郭玮, 任杰. 脑力疲劳的实验室诱发模型和评价手段研究进展 [J]. 中国运动医学杂志, 2013, 32 (12): 1121-1128.
- [10] 丁桂梅, 于金利, 韩小娟. 航空疲劳飞行的研究综述 [J]. 中国疗养医学, 2018, 27 (7): 696-698.
- [11] 张超, 唐仕川, 李东明, 等. 高温高湿环境下人员劳动负荷与疲劳水平试验研究 [J]. 安全与环境学报, 2015, 15 (4): 176-180.
- [12] Raymond CA. Shifting work, sleep cycles are on the way to becoming another public health issue [J]. *Jama the Journal of the American Medical Association*, 1988, 259 (20): 2958-2959.
- [13] 孙瑞山, 田万里. 飞行疲劳检测方法研究进展 [J]. 职业与健康, 2015, 31 (8): 1142-1146.
- [14] 王天芳, 薛晓琳. 疲劳自评量表 [J]. 中华中医药杂志, 2009, 24 (3): 348-349.
- [15] 薛晓琳, 王天芳, 于春光, 等. 疲劳自评量表的信、效度评价 [J]. 中国中西医结合杂志, 2008, 28 (6): 550-554.
- [16] 薛晓琳, 王天芳. 疲劳自评量表的研制及应用 [A]. 中华中医药学会第九次中医诊断学术会议 [C]. 2008.
- [17] 孙继成. 飞行任务负荷模型和睡眠剥夺模型的生理心理评估 [D]. 西安: 第四军医大学, 2016.
- [18] 汪磊, 孙瑞山. 基于面部特征识别的管制员疲劳监测方法研究 [J]. 中国安全科学学报, 2012, 22 (7): 66-71.
- [19] 郭夏言. 电力企业集控运行员工疲劳问题研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
- [20] 李楠. 热环境中影响人体耐受能力的生理参数研究 [D]. 天津: 天津大学, 2012.
- [21] 于娜. 人体仿真技术在先进制造作业疲劳研究中的应用 [J]. 技术与创新管理, 2016, 37 (2): 163-166.
- [22] Abdel-Malek, Karim A. Human Motion Simulation [M]. Amsterdam: Elsevier Inc, 2013: 127-147.
- [23] 陈建武, 张晴. 安全人机工效虚拟仿真实验系统设计 [J]. 中国安全生产科学技术, 2013, 9 (5): 117-120.
- [24] 邵祺. 基于肌肉骨骼负荷的作业舒适度评价方法研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
- [25] 陈雨果, 张轩, 张兰, 等. 南方(以广东起步)电力容量市场机制设计探讨 [J]. 广东电力, 2020, 33 (2): 45-53.

(收稿日期: 2020-05-12; 修回日期: 2020-08-13)

· 声 明 ·

关于网络上出现假冒“中国工业医学杂志网站”及在线投稿的声明

《中国工业医学杂志》官网地址 <http://zggyyx.ijournals.cn>, 作者注册登录后可在线投稿。目前, 网络上出现的假冒“中国工业医学杂志网站”及在线投稿系统与本刊无关, 望广大作者和读者认真鉴别, 谨防受骗。