

# 飞行员心理疲劳：测量、成因及干预

邓丽芳\*, 裴 蓓, 孙馨林

北京航空航天大学人文社会科学学院, 北京

收稿日期: 2024年1月2日; 录用日期: 2024年3月7日; 发布日期: 2024年3月19日

## 摘要

心理疲劳对飞行员的身心、行为及航空安全都有着重要影响。本文通过国内外文献分析, 系统地阐述了飞行员心理疲劳的测量方法、产生原因及干预方式。以往测量方法主要包含生理指标评价、主观评价和行为表现测量, 认知负荷、人格特质、动机水平和生理状况, 以及源自工作、家庭和人际等方面的压力源是导致飞行员心理疲劳的重要因素。飞行员心理疲劳的干预主要体现在心理训练、睡眠保障和日常工作安排方面。对飞行员心理疲劳的系统性研究有助于为飞行员的身心健康管理提供科学依据和保障飞行安全。

## 关键词

飞行员, 心理疲劳, 测量, 干预

# Mental Fatigue of Pilots: Measurements, Causes and Interventions

Lifang Deng\*, Bei Pei, Xinlin Sun

School of Humanities and Social Sciences, Beihang University, Beijing

Received: Jan. 2<sup>nd</sup>, 2024; accepted: Mar. 7<sup>th</sup>, 2024; published: Mar. 19<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Mental fatigue has an important impact on pilots' physical and mental health, behavior and aviation safety. Based on the analysis of domestic and foreign literature, this paper systematically expounds on the measurement methods, causes and intervention methods of pilots' mental fatigue. Previous measurement methods mainly include physiological indicators, subjective evaluation and behavior performance measurement. Cognitive load, personality traits, motivation level and

\*通讯作者。

physiological status, as well as stressors from work, family and interpersonal relationships, are the influencing factors of pilots' mental fatigue. The intervention of pilots' mental fatigue is mainly reflected in psychological training, sleep support and daily work arrangements. The systematic study of pilots' mental fatigue is helpful in providing a scientific basis for pilots' physical and mental health management and ensuring aviation safety.

## Keywords

Pilots, Mental Fatigue, Measurement, Intervention

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

飞行员心理疲劳(Mental Fatigue, 又称“精神疲劳”)是航空领域日益关注的问题,也是导致各种航空事故的重要因素(Dai et al., 2020; Kelly & Efthymiou, 2019)。心理疲劳目前尚未形成统一定义,有研究者认为心理疲劳是伴随着倦怠感、警觉性降低和效率下降的一个渐进和累积的过程(Borghini et al., 2014; Phillips, 2015)。

心理疲劳会从各个方面对飞行员产生不良影响,威胁着航空安全。首先,心理疲劳会导致飞行员的反应时增加、反应速度下降,影响个体注意力,降低飞行员的警觉性,从而导致任务的错误率上升,进一步影响飞行员的任务决策和问题解决能力(Bendak & Rashid, 2020; Gregory et al., 2010; 张佳丽等, 2013)。其次,心理疲劳还会使飞行员产生情感变化,导致飞行员对风险和努力的耐力下降,增加对任务的厌恶感(Magnuson et al., 2021; Marcora et al., 2009)。另外,心理疲劳甚至会造成飞行员无意识进入睡眠的现象,即“甲板上的瞌睡”,严重影响航空安全(Kharoufah et al., 2018)。

尽管飞行中的心理疲劳已受到重视,但相关研究在数量和内容上都有待进一步丰富。因此,有必要系统地研究飞行员的心理疲劳,为航空安全提供理论支持。本文旨在通过梳理以往相关研究,对飞行员心理疲劳的测量方法、成因和干预方式进行总结与反思,为飞行员心理疲劳的预防和应对提供参考。

## 2. 飞行员心理疲劳的测量

准确地测量与评估飞行员的心理疲劳程度是开展系列研究的基础。目前来看,对心理疲劳的测量主要围绕三个方面开展:生理指标评价、主观评价和对基于行为表现的测量。

### 2.1. 生理指标评价

在生理指标层面,脑电活动、心电图和眼动数据等都是较为常见的指标。脑电图(Electroencephalogram, EEG)是对大脑电活动的测量,不同频段的 EEG 功率对认知需求的变化非常敏感,心理疲劳会导致额叶与顶叶脑电节律的功率增加(Hebbar et al., 2021)。还有许多研究者通过眼动追踪测量被试的心理疲劳程度,利用瞳孔直径、收缩潜伏期,收缩幅度和眼跳速度等变化评价疲劳程度(Dumond et al., 2005)。心率降低、呼吸频率下降、皮肤电活动减小、立位平衡能力下降等也是检测心理疲劳的常用生理指标(Borghini et al., 2014; Cheng et al., 2018)。

相较于单一指标的测量,多模态的生理指标测量有着更高的检测准确率。Dehais 等(2018)开发了一种

基于功能性近红外光谱和干电极脑电图的被动脑机接口来监测心理疲劳, 研究表明当两种模态结合时, 在飞行模拟器条件下分类的准确性可达 87.2%。Qin 等(2021)在模拟飞行实验中观测了被试的心率变异性眼部指标, 并使用聚类方法和监督机器学习实现了通过这两个指标进行自动的心理疲劳检测, 最高检测准确率为 91.8%。生理指标对心理疲劳的测量具有较高的准确性, 测量结果的争议较少, 但所用设备大多占地大、消耗大、费用高, 难以在飞机驾驶舱内实际应用。

## 2.2. 主观评价

主观评价多依托量表进行, 用以衡量心理疲劳的代表性量表有疲劳感觉量表(Yoshitake, 1971)、工作倦怠量表(Maslach & Jackson, 1981)、Cooper-Harper 量表(Wierwille, 1983)和 MFI 多维疲劳量表(Smets et al., 1995)等。还有部分研究者采用睡意进行疲劳测量, 应用较多的工具为斯坦福嗜睡量表(Dawson et al., 2014)。总体来看, 疲劳的主观评价多基于倦怠或是包含生理疲劳与心理疲劳的自我报告, 评估过程简单, 结果易操作, 但受被试主观因素影响较大(Göker, 2018)。

## 2.3. 基于行为表现的测量

相对采用生理指标和主观评价的测量方法, 对行为表现的测量是间接的测量心理疲劳的方法, 该方法的基本假设是随着任务难度的增加和心理疲劳的加重, 飞行员在任务中的表现会下降(Hebbar et al., 2021)。精神运动警觉任务(Psychomotor Vigilance Task, PVT)被应用于众多疲劳研究中检测心理疲劳, 该测试通过检测被试对强调信号的响应速度来评估个体的持续注意能力(Arsintescu et al., 2017; 张英等, 2018)。Tyagi 等(2009)在 PVT 的基础上提出了一种听觉工作记忆警戒任务, 用来测量个体的心理疲劳。还有研究者通过分析飞行员的声音和语音指标(如犹豫、停顿、最后音节的拖延和音节的清晰度等)发现发生空难的飞行员当天的言语表达能力和清晰度明显下降, 证实了通过言语分析检测飞行员心理疲劳的可行性(Vasconcelos et al., 2019)。

以上三种是较为传统的飞行员心理疲劳的测量方法, 各类方法都有自身的优点和局限性。在传统测量方法的基础上, 有研究者将不同方法结合进行了心理疲劳评估尝试, 例如 Zhang 等(2019)将主观测量与眼动特征相结合建立了心理疲劳评价模型, 模型分类准确率达到 97.4%。但总体来看, 目前心理疲劳的测量主要有两大问题: 一是不同的测量方法之间指标差异性较大, 对飞行员的心理疲劳缺乏统一的衡量标准; 二是当前的大部分相关研究是在实验室诱发“心理疲劳”的状态下进行测试, 条件较为严苛, 难以大范围应用到实际的工作场景中(Mohanavelu et al., 2020; 吴锋广, 牟海鹰, 2015)。

## 3. 飞行员心理疲劳的成因

为减少心理疲劳对飞行安全的不良影响, 使用合适的干预手段, 研究者们从各个方面对飞行员心理疲劳的产生原因进行了探索, 主要包含心理、生理和外部环境三个方面。

### 3.1. 内部心理因素

#### 3.1.1. 认知负荷

有研究指出 75% 的飞机事故都与人为差错有关, 且在大多数情况下是由于高认知负荷(Alaimo et al., 2020)。认知资源一种支持个体执行认知加工的能量, 复杂任务的执行需要各种心理资源的整合, 如注意控制、反应抑制和决策等, 然而认知资源具有有限性, 当任务复杂程度较高或持续时间较长, 个体将会面临高认知负荷, 进而诱发高程度的心理疲劳(Friedman et al., 2019)。高强度的认知负荷在飞行活动中必不可少, 飞行员需要在同一时刻处理大量的视觉和听觉信息, 并且兼顾监控和决策, 还需要应对各种紧急情况, 因而会产生较高的认知负荷(Causse et al., 2016)。较高的认知负荷会导致飞行员的态势感知能力

下降,影响飞行员倾听、理解和回应听觉信息的能力,加剧其焦虑水平,进一步限制飞行员寻找信息的能力,从而造成高认知负荷与心理疲劳的恶性循环(Allsop et al., 2016; Chen et al., 2019)。

除了认知超负荷以外,长时间执行简单重复的认知任务也会导致参与者产生无聊感、消极的主观体验,任务投入度下降,与任务无关的想法增加,进而产生心理疲劳,导致表现下降(Langner & Eickhoff, 2013)。随着技术的快速发展,先进的自动化有助于减少驾驶舱内的大部分人为任务,减少飞行员的认知工作量和所需的人数。然而,由此会产生驾驶舱工作环境的刺激减少(尤其是在长途飞行中),导致飞行员警惕性下降和无聊感的增加,从而引起心理疲劳(Bendak & Rashid, 2020)。

### 3.1.2. 人格特质

一些来自其他工作人群的研究表明,人格特质是心理疲劳的易感因素之一。Andrea 等(2004)探索了工作人群的疲劳与过度担忧之间的横向与纵向关联,发现过分担忧的个体不仅在当下有更高的心理疲劳水平,在 10 个月后,病理性担忧仍然与疲劳相关。高责任心和高完美主义的易感个体过于强调目标和成功,过度损耗心理资源,容易引起心理疲劳(Besharat et al., 2011)。另外,过于完美主义、高神经质与低外向性(Prins et al., 2006)也被认为是心理疲劳的危险因素。

### 3.1.3. 动机水平

部分研究指出,心理疲劳的持续可能与个体缺乏动机有关(Boksem et al., 2006)。疲劳感可能是由于个体的潜意识会分析消耗能量或节约能量带来的成本和收益(Boksem et al., 2006)。当人们付出的精力与得到的收益成正比时,他们才会更愿意在某项任务上花费精力,此时动机水平高不容易产生心理疲劳;当人们持续付出精力,但又感知不到太多收益时,会容易产生放弃任务的动机,表现出心理疲劳感(Boksem & Top, 2008),而这种现象在飞行员长时间执行任务中更容易发生。

## 3.2. 生理因素

心理症状与生理情况密切相关,在各类飞行员心理疲劳的研究中,生物节律都是无法忽略的重要存在。正常睡眠模式的丧失或中断会引起心理疲劳,有研究表示飞行员经常面临长时间的值班、夜班和轮班等,长途飞行员还面临着时区对睡眠节律的挑战,导致睡眠时长不足、质量较低(Caldwell, 2005),成为飞行员心理疲劳的主要原因。总体而言,睡眠因素诱发的心理疲劳集中在以下三个方面:首先是工作时间的增长导致的睡眠减少,其次是早班和晚班导致的睡眠时间损失,最后是由于快速的时区更换带来的睡眠节律紊乱(Hartzler, 2014)。此外,慢性身体疾病也是飞行员心理疲劳的诱因之一(Meghan, 2022)。

## 3.3. 外部环境压力源

根据社会认知理论的能力-资源途径(Capacity-Resource Approach),压力会大大消耗注意力资源(Chajut & Algom, 2003),引起心理疲劳,从而致使飞行员对当前任务不能做出适当反应,因此飞行员的心理疲劳也受到外界压力源的影响。而飞行员的压力源主要源自工作、家庭和人际等方面。

工作相关的压力源是飞行员心理疲劳的重要影响因素,如飞行员的工作量、飞行时间、责任要求等(ICAO, 2016)。国际民航组织对疲劳的定义中包括将工作量描述为“精神或身体活动”,工作的复杂性和飞行员需要达到的熟练程度、综合能力等也会增加工作量(Watson, 2001)。为了应对在飞行期间的安全压力、时间压力、任务压力等,飞行员需要投入更多努力和精力,持续保持高专注状态,导致更易诱发心理疲劳。而飞行日程安排关系到飞行员的生物节律,影响其心理疲劳状态与调节。由于飞行员特殊的工作环境和职业性质,飞行高度、长途飞行中的单调和无聊、控制设备缺乏触觉反馈、光照和噪音等都会造成飞行员的心理疲劳(Demerouti et al., 2019; Hartzler, 2014)。除工作压力外,家庭状况、工作与私人生活的冲突(Demerouti et al., 2019)、人际关系问题(Meghan, 2022)等因素也与飞行员的心理疲劳有关。

飞行员心理疲劳受到多种因素的共同影响，部分影响因素之间还存在交互作用。外部环境压力往往通过心理机制或者生理因素引发心理疲劳，而飞行员的认知负荷与动机水平不仅是诱发心理疲劳的因素，还会影响心理疲劳的持续程度和时长。本文以心理-生物-社会模型为线索，对上述成因进行了梳理总结，形成了飞行员心理疲劳的影响机制模型图(图 1)。

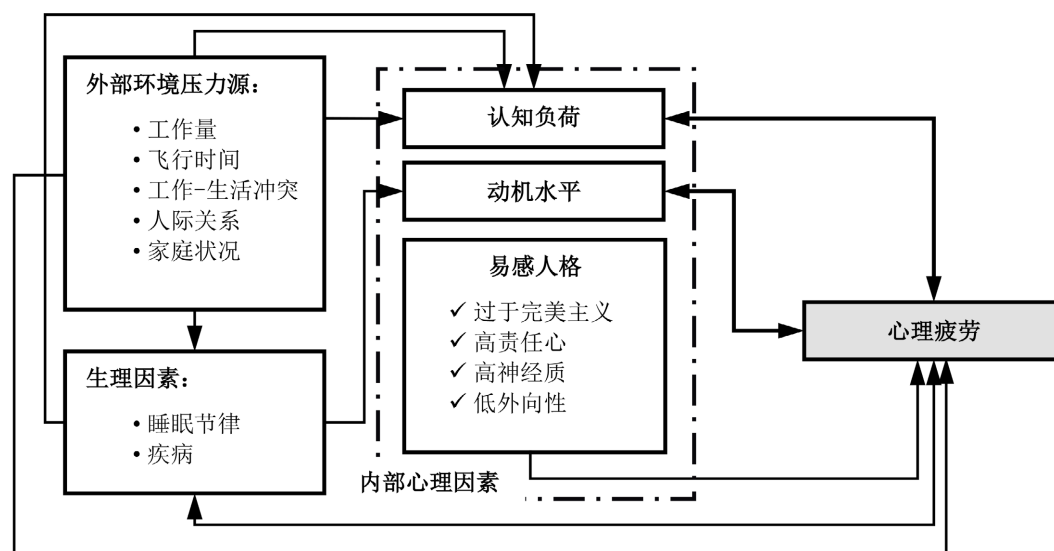


Figure 1. Model of the influence mechanism of pilots' mental fatigue  
图 1. 飞行员心理疲劳的影响机制模型

#### 4. 飞行员心理疲劳的干预

基于上述心理、生理和外部环境三方面的成因，本文从提升个体心理品质、增强个体生理素质和减少环境压力源三个方面对飞行员心理疲劳的干预研究进行了梳理和分析。

近年来，由于人因失误所导致的飞行事故使相关人员越发意识到心理训练的重要性，飞行员的心理训练也从单一技能训练向对复杂情境认知监控和管理的综合技能训练转变，从强调个体训练向团体协作转变。从训练内容来看，判断与决策、知觉与注意力分配等认知训练，应激训练，自我调节训练等都有助于飞行员个人心理品质的完善，提升心理阈限，从而预防心理疲劳的发生。当飞行员感受到心理疲劳时，放松训练则有助于帮助其缓解消除心理疲劳，恢复机能。放松训练是心理咨询与治疗领域常用的方法，是指通过训练比如肌肉放松、生物反馈调节、指导想象等使身体和心理达到松弛的方法(Gardiner et al., 2015)。具体的放松训练技术研究较多，例如松弛激活技术(Gardiner et al., 2015)、Jakobson 的渐进式放松(Socha et al., 2020)、“漂浮放松反馈训练太空舱”(宋华淼等, 2013)等。

飞行员疲劳的干预在生理调适方面的研究较多，合理的休息、锻炼、饮食与药物干预是当前研究中经常提到的几种方式。战略性的小睡、驾驶舱内的小憩或实行机上铺位睡眠等被认为是良好的心理疲劳对抗策略(Caldwell, 2005; Hartzler, 2014)。适度的锻炼与活动有助于飞行员提高觉醒程度，减轻疲劳，而规律科学的饮食则有助于飞行员的高质量睡眠(杨菁华等, 2022)。欧洲航空安全组织还列出了一组生活方式实践指南，可以帮助预防疲劳或减轻疲劳的后果，包括给予足够的放松或者疗养时间，食用促进睡眠的食物等(EUROControl, 2018)。

心理疲劳也可能是生活中急性压力源导致的直接结果，在这种情况下，消除或减少压力源是非常有益的(Meghan, 2022)。航空公司应加强对飞行员心理疲劳的重视，合理安排飞行员的工作时间(Gawron,



2016)。疲劳风险管理系统(Fatigue Risk Management System, FRMS)在管理机组人员疲劳时,传统的办法就是通过限制每日、每月和每年最长飞行和工作时间,以及飞行排班之间的最短休息时间。另外,组织氛围影响着飞行员对不安全飞行的重视程度,Sieberichs和Kluge(2016)发现飞行员感受到的航空公司的安全态度与自身报告疲劳相关事件的态度显著正相关。因此,构建积极安全的组织氛围,有利于鼓励飞行员报告飞行中心理疲劳的相关事件,促进航空组织对疲劳风险管理结构的完善。飞行员自身保持工作与生活的平衡也是预防心理疲劳的重要途径(EUROControl, 2018)。

总体而言,以往飞行员心理疲劳的相关干预研究主要包括针对疲劳(包括生理、心理疲劳)的管理制度落实、训练或者飞行员的自我保健等。主要存在的问题有:飞行员心理疲劳的干预和调适理论多参考其他群体的相关研究,结合飞行员职业特征的干预方法与理论研究还有待探索;目前关于飞行员疲劳的干预研究更侧重于生理方面,针对心理特性的疲劳干预方案还需进一步探索,例如结合个体差异性设计干预方案,或在动机水平方面的干预等;尚未形成系统性的干预方案,且干预的方法和实施具有滞后性。

## 5. 总结与展望

本研究从飞行员的心理疲劳出发,总结了飞行员心理疲劳的测量方法,探讨了心理疲劳产生的心理、生理及环境因素,最后从预防与缓解两个角度梳理了飞行员心理疲劳的干预措施。通过对过往研究的回顾发现,国内对于飞行员心理疲劳的研究还不够充分,对心理疲劳也尚未形成统一的定义,较少有研究对飞行员心理疲劳的产生机制进行深入探索。由此,在飞行员心理疲劳的干预上也缺乏系统性和针对性。

未来的相关研究可以从以下几个方面进一步深入:一是明确心理疲劳的表征与测量指标,结合多种测量方式深入系统性地分析飞行员心理疲劳的产生机制。例如,当前机器学习的方法已经得到飞行员疲劳预测研究者的关注,但尚未形成统一的系数模型。二是基于心理疲劳产生的机制或不同表现形成系统性与针对性相结合的干预方案,提升心理疲劳的防治效果。三是细化飞行员群体的分类,由于培养目标和工作任务的不同,民航飞行员和军事飞行员之间存在较大的差异,甚至货运飞行员、短途飞行员、长途飞行员、洲际飞行员、高原飞行员等都有一定的不同,但已有研究中对于飞行员岗位的细化不明确,比较不同种类飞行员心理疲劳的研究也较少,未来的研究中可以细化飞行员这一群体的分类,比较其不同的心理疲劳程度和影响机制等。

## 基金项目

北京航空航天大学青年拔尖人才支持计划项目(KG16099201)。

## 参考文献

- 宋华淼,曹娜,刘娟,等(2013). 飞行人员心理品质训练模式与方法建构. *航空军医*, 41(2), 71-73.
- 吴锋广,牟海鹰(2015). 飞行疲劳表现、影响因素及监测技术. *西安航空学院学报*, (5), 39-42.
- 杨菁华,程珊,孙继成,丛林,王丽,吴建全,宋春杨,刘翠,马进,胡文东(2022). 飞行任务负荷下疲劳的监测及干预措施浅析. *空军军医大学学报*, 43(2), 82-85. <https://doi.org/10.13276/j.issn.2097-1656.2022.01.017>
- 张佳丽,李靖,蒙果,李鸣皋(2013). 飞行员在模拟飞行训练中脑力疲劳的脑电图研究. *中国应用生理学杂志*, 29(3), 77-80.
- 张英,陈晨,刘振华,胡思源(2018). 精神运动警觉性任务在不同知觉负荷下的疲劳状态监测. *心理学探新*, 38(4), 90-97.
- Alaimo, A., Esposito, A., Orlando, C., & Simoncini, A. (2020). Aircraft pilots workload Analysis: Heart Rate Variability Objective Measures and NASA-Task Load Index Subjective Evaluation. *Aerospace*, 7, Article 137. <https://doi.org/10.3390/aerospace7090137>
- Allsop, J., Gray, R., Bulthoff, H. H., & Chuang, L. (2016). Effects of Anxiety and Cognitive Load on Instrument Scanning Behavior in a Flight Simulation. In *2016 IEEE Second Workshop on Eye Tracking and Visualization (ETVIS)* (pp. 55-59).

- IEEE. <https://doi.org/10.1109/ETVIS.2016.7851167>
- Andrea, H., Beurskens, A. J., Kant, I., Davey, G. C., Field, A. P., & Schayck, C. V. (2004). The Relation between Pathological Worrying and Fatigue in a Working Population. *Journal of Psychosomatic Research*, 57, 399-407. [https://doi.org/10.1016/S0022-3999\(04\)00048-0](https://doi.org/10.1016/S0022-3999(04)00048-0)
- Arsintescu, L., Kato, K. H., Cravalho, P. F., Feick, N. H., Stone, L. S., & Flynn-Evans, E. E. (2017). Validation of a Touchscreen Psychomotor Vigilance Task. *Accident Analysis & Prevention*, 126, 173-176. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.11.041>
- Bendak, S., & Rashid, H. (2020). Fatigue in Aviation: A Systematic Review of the Literature. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 76, Article 102928. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.102928>
- Besharat, M. A., Behpajoo, A., Poursharifi, H., & Zarani, F. (2011). Personality and Chronic Fatigue Syndrome: The Role of the Five-Factor Model. *Asian Journal of Psychiatry*, 4, 55-59. <https://doi.org/10.1016/j.ajp.2010.12.001>
- Boksem, M. A., & Tops, M. (2008). Mental Fatigue: Costs and Benefits. *Brain Research Reviews*, 59, 125-139. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2008.07.001>
- Boksem, M. A., Meijman, T. F., & Lorist, M. M. (2006). Mental Fatigue, Motivation and Action Monitoring. *Biological Psychology*, 72, 123-132. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.08.007>
- Borghini, G., Astolfi, L., Vecchiato, G., Mattia, D., & Babiloni, F. (2014). Measuring Neurophysiological Signals in Aircraft Pilots and Car Drivers for the Assessment of Mental Workload, Fatigue and Drowsiness. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 44, 58-75. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.10.003>
- Caldwell, J. A. (2005). Fatigue in Aviation. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 3, 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2004.07.008>
- Causse, M., Peysakhovich, V., & Fabre, E. F. (2016). High Working Memory Load Impairs Language Processing during a Simulated Piloting Task: An ERP and Pupillometry Study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, Article 240. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00240>
- Chajut, E., & Algom, D. (2003). Selective Attention Improves under Stress: Implications for Theories of Social Cognition. *Journal of Personality and Social Psychology*, 85, 231-248. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.85.2.231>
- Chen, J., Zhang, Q., Cheng, L., Gao, X., & Ding, L. (2019). A Cognitive Load Assessment Method Considering Individual Differences in Eye Movement Data. In *The 2019 IEEE 15th International Conference on Control and Automation (ICCA)* (pp. 295-300). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCA.2019.8899595>
- Cheng, S., Sun, J., Ma, J., Dang, W., Tang, M., Hui, D., Zhang, L., & Hu, W. (2018). Posturographic Balance's Validity in Mental and Physical Fatigue Assessment among Cadet Pilots. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 89, 961-966. <https://doi.org/10.3357/AMHP.5128.2018>
- Dai, J., Luo, M., Hu, W., Ma, J., & Wen, Z. (2020). Developing a Fatigue Questionnaire for Chinese Civil Aviation Pilots. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 26, 37-45. <https://doi.org/10.1080/10803548.2018.1456796>
- Dawson, D., Searle, A. K., & Paterson, J. L. (2014). Look before You (S)leep: Evaluating the Use of Fatigue Detection Technologies within a Fatigue Risk Management System for the Road Transport Industry. *Sleep Medicine Reviews*, 18, 141-152. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2013.03.003>
- Dehais, F., Dupres, A., Flumeri, G. D., Verdier, K., & Roy, R. (2018). Monitoring Pilot's Cognitive Fatigue with Engagement Features in Simulated and Actual Flight Conditions Using an Hybrid FNIRS-EEG Passive BCI. In *The 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)* (pp. 544-549). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SMC.2018.00102>
- Demerouti, E., Veldhuis, W., Coombes, C., & Hunter, R. (2019). Burnout among Pilots: Psychosocial Factors Related to Happiness and Performance at Simulator Training. *Ergonomics*, 62, 233-245. <https://doi.org/10.1080/00140139.2018.1464667>
- Dumond, S. L., Greig, J. L., & Leduc, P. A. (2005). Involuntary Eye Responses as Measures of Fatigue in US Army Apache Aviators. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 76, C86-C91.
- EUROControl (2018). *Fatigue and Sleep Management Booklet: Personal Strategies for Decreasing the Effects of Fatigue in Air Traffic Control*. European Organisation for the Safety of Air Navigation. <https://www.eurocontrol.int/publication/fatigue-and-sleep-management-booklet>
- Friedman, N., Fekete, T., Gal, K., & Shriki, O. (2019). EEG-Based Prediction of Cognitive Load in Intelligence Tests. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13, Article 191. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00191>
- Gardiner, P., Sadikova, E., Filippelli, A. C., Mitchell, S., White, L. F., Saper, R. et al. (2015). Stress Management and Relaxation Techniques Use among Underserved Inpatients in an Innercity Hospital. *Complementary Therapies in Medicine*, 23, 405-412. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2015.03.006>
- Gawron, V. J. (2016). Summary of Fatigue Research for Civilian and Military Pilots. *IIE Transactions on Occupational Er-*

- gonomics and Human Factors*, 4, 1-18. <https://doi.org/10.1080/21577323.2015.1046093>
- Göker, Z. (2018). Fatigue in the Aviation: An Overview of the Measurements and Countermeasures. *Journal of Aviation*, 2, 185-194. <https://doi.org/10.30518/jav.451741>
- Gregory, K. B., Winn, W., Johnson, K., & Rosekind, M. R. (2010). Pilot Fatigue Survey: Exploring Fatigue Factors in Air Medical Operations. *Air Medical Journal*, 29, 309-319. <https://doi.org/10.1016/j.amj.2010.07.002>
- Hartzler, B. M. (2014). Fatigue on the Flight Deck: The Consequences of Sleep Loss and the Benefits of Napping. *Accident Analysis and Prevention*, 62, 309-318. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.10.010>
- Hebbar, P. A., Bhattacharya, K., Prabhakar, G., Pashilkar, A. A., & Biswas, P. (2021). Correlation between Physiological and Performance-Based Metrics to Estimate Pilots' Cognitive Workload. *Frontiers in Psychology*, 12, Article 555446. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2021.555446>  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.555446>
- International Civil Aviation Organization (ICAO) (2016). *Manual for the Oversight of Fatigue Management Approaches*. ICAO.
- Kelly, D., & Efthymiou, M. (2019). An Analysis of Human Factors in Fifty Controlled Flight into Terrain Aviation Accidents from 2007 to 2017. *Journal of Safety Research*, 69, 155-165. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.03.009>
- Kharoufah, H., Murray, J., Baxter, G., & Wild, G. (2018). A Review of Human Factors Causations in Commercial Air Transport Accidents and Incidents: From to 2000-2016. *Progress in Aerospace Sciences*, 99, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2018.03.002>
- Langner, R., & Eickhoff, S. B. (2013). Sustaining Attention to Simple Tasks: A Meta-Analytic Review of the Neural Mechanisms of Vigilant Attention. *Psychological Bulletin*, 139, 870-900. <https://doi.org/10.1037/a0030694>
- Magnuson, J. R., Doesburg, S. M., & Mcneil, C. J. (2021). Development and Recovery Time of Mental Fatigue and Its Impact on Motor Function. *Biological Psychology*, 161, Article 108076. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2021.108076>
- Marcora, S. M., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental Fatigue Impairs Physical Performance in Humans. *Journal of Applied Physiology*, 106, 857-864. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91324.2008>
- Maslach, C., & Jackson, S. E. (1981). The Measurement of Experienced Burnout. *Journal of Organizational Behavior*, 2, 99-113. <https://doi.org/10.1002/job.4030020205>
- Meghan (2022). *Mental Fatigue: Causes, Diagnosis and Treatment*. FHE Health. <https://therehab.com/learning/mental-fatigue-treatment>
- Mohanavelu, K., Poonguzhali, S., Ravi, D., Singh, P. K., & Jayaraman, S. (2020). Cognitive Workload Analysis of Fighter Aircraft Pilots in Flight Simulator Environment. *Defence Science Journal*, 70, 131-139. <https://doi.org/10.14429/dsj.70.14539>
- Phillips, R. O. (2015). A Review of Definitions of Fatigue—And a Step towards a Whole Definition. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 29, 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.01.003>
- Prins, J. B., Bleijenberg, G., & Van der Meer, J. W. M. (2006). Chronic Fatigue Syndrome—Authors' Reply. *The Lancet*, 367, 1575. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)68689-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68689-3)
- Qin, H., Zhou, X., Ou, X., Liu, Y., & Xue, C. (2021). Detection of Mental Fatigue State Using Heart Rate Variability and Eye Metrics during Simulated Flight. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing and Service Industries*, 31, 637-651. <https://doi.org/10.1002/hfm.20927>
- Sieberichs, S., & Kluge, A. (2016). Good Sleep Quality and Ways to Control Fatigue Risks in Aviation—An Empirical Study with Commercial Airline Pilots. In R. Goonetilleke, & W. Karwowski (Eds.), *Advances in Physical Ergonomics and Human Factors. Advances in Intelligent Systems and Computing* (pp. 191-201). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-41694-6\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41694-6_20)
- Smets, E. M. A., Garssen, B., Bonke, B. D., & De Haes, J. C. J. M. (1995). The Multidimensional Fatigue Inventory (MFI) Psychometric Qualities of an Instrument to Assess Fatigue. *Journal of Psychosomatic Research*, 39, 315-325. [https://doi.org/10.1016/0022-3999\(94\)00125-0](https://doi.org/10.1016/0022-3999(94)00125-0)
- Socha, V., Socha, L., Hanáková, L., Karapetyan, L., Valenta, V., Kušmírek, S. et al. (2020). Effect of Psychological Training on Pilot's Performance. *Transportation Research Procedia*, 51, 252-260. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.11.028>
- Tyagi, R., Shen, K., Shao, S., & Li, X. (2009). A Novel Auditory Working-Memory Vigilance Task for Mental Fatigue Assessment. *Safety Science*, 47, 967-972. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.10.018>
- Vasconcelos, C. D., Vieira, M. N., Kecklund, G., & Yehia, H. C. (2019). Speech Analysis for Fatigue and Sleepiness Detection of a Pilot. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 90, 415-418. <https://doi.org/10.3357/AMHP.5134.2019>
- Watson, D. W. (2001). Physiological Correlates of Heart Rate Variability (HRV) and the Subjective Assessment of Workload and Fatigue In-Flight Crew: A Practical Study. In *2001 People in Control. The Second International Conference on Human Interfaces in Control Rooms, Cockpits and Command Centres* (pp. 159-163). IET.



---

<https://doi.org/10.1049/cp:20010453>

Wierwille, W. W. (1983). A Validating Rating Scale for Global Mental Workload Measurement Application. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 27, 129-133. <https://doi.org/10.1177/154193128302700203>

Yoshitake, H. (1971). Relations between the Symptoms and the Feeling of Fatigue. *Ergonomics*, 14, 175-186. <https://doi.org/10.1080/00140137108931236>

Zhang, L., Zhou, Q., Yin, Q., & Liu, Z. (2019). Assessment of Pilots Mental Fatigue Status with the Eye Movement Features. In I. Nunes (Ed.), *Advances in Human Factors and Systems Interaction. AHFE 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing* (pp. 146-155). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-94334-3\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-94334-3_16)