

# 立位平衡功能测试在民航飞行员模拟机任务所致疲劳评估中的应用

杨 伶, 赵荣甫, 王临生, 葛泽松\*

民航西安医院, 陕西 西安

收稿日期: 2021年12月26日; 录用日期: 2022年1月18日; 发布日期: 2022年1月25日

## 摘 要

立位平衡能力逐步成为疲劳评估领域研究的热点, 本研究通过模拟机飞行任务前后民航飞行员静态立位平衡能力变化, 探究其对疲劳的应用效果。选取民航现役飞行员113名, 均接受3小时飞行模拟机训练。训练1小时后测量NASA-TLX量表和静态立位平衡能力; 3小时后再次测量静态立位平衡能力和NASA-TLX量表。结果1小时任务与3小时任务的飞行员主观疲劳量表NASA-TLX的成绩(1 h, 3.46 + 0.82; 3 h, 4.68 + 0.97)显著升高( $F = 3.26, P = 0.017$ ); 飞行员静态立位平衡指数值在经过3小时任务后显著升高( $F = 4.86^{**}, P < 0.01$ ), 且静态立位平衡能力与主观疲劳量表NASA-TLX得分高相关 $r = 0.87$ ; 同时41岁以上飞行员静态平衡能力较年轻组显著下降( $F = 3.13, P < 0.01$ )。得到结论静态立位平衡能力可有效应用于民航飞行员因飞行导致的疲劳测定; 40岁以上飞行员在3小时的模拟机飞行任务后疲劳程度显著升高; 飞行经验在一定的区间能够帮助飞行员应对疲劳。

## 关键词

疲劳, 飞行员, 静态立位平衡, NASA-TLX

# Application of Upright Balance Function Test in Fatigue Assessment of Civil Aviation Pilot Simulated Aircraft Mission

Ling Yang, Rongfu Zhao, Linsheng Wang, Zesong Ge\*

\*通讯作者。

文章引用: 杨伶, 赵荣甫, 王临生, 葛泽松(2022). 立位平衡功能测试在民航飞行员模拟机任务所致疲劳评估中的应用. *心理学进展*, 12(1), 302-307. DOI: 10.12677/ap.2022.121034

## Abstract

Upright balance ability has gradually become a research spot in the field of fatigue evaluation. This study explores its application effect on fatigue through the changes of static upright balance ability of civil aviation pilots before and after the simulator flight mission. 113 civil aviation pilots were selected and all received 3-hour flight simulator training. After one hour of training, NASA-TLX scale and static upright balance ability were measured; after 3 hours, the static upright balance test and NASA-TLX scale were measured again. Results: the scores of NASA-TLX (1 H, 3.46 + 0.82; 3 h, 4.68 + 0.97) were significantly increased ( $F = 3.26, P = 0.017$ ); the SUBI of pilots was significantly increased after three-hour task ( $F = 4.86^{**}, P < 0.01$ ); and the SUBI had a high correlation with the score of NASA-TLX,  $r = 0.87$ . At the same time, the SUBI of pilots over 41 years old was significantly lower than that of the young group ( $F = 3.13, P < 0.01$ ). Conclusion: The SUBI can be effectively applied to the determination of flight-induced fatigue of civil aviation pilots; the fatigue degree of pilots over 40 years old increases significantly after a 3-hour simulator flight mission; flight experience can help pilots cope with fatigue in a certain range.

## Keywords

Fatigue, Pilot, Static Upright Balance, NASA-TLX

Copyright © 2022 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

随着我国民航事业的快速发展, 飞行员面临着更高负荷的飞行任务。当较长时间处于这种高负荷的认知操作任务环境中, 飞行员可能会产生一定程度以脑力下降为主的疲劳状态, 导致飞行员生理、心理机能下降甚至可能使飞行员思维迟缓, 影响飞行安全(范洁怡等, 2017)。因此, 快速有效地评价飞行任务后飞行员的疲劳状态水平, 具有重要的意义。传统的疲劳检测手段有疲劳量表、脑电、心电图等, 操作和解读十分繁杂。因此, 立位平衡能力逐步成为客观疲劳评估领域研究的热点, 已有研究证实其在疲劳评估中的作用(Forsman et al., 2014; Avni et al., 2006)。王斌等人研究发现持续工作负荷所致脑力疲劳对静态平衡能力变化有显著影响(王斌等, 2012), 还有研究将立位平衡测量应用于模拟飞行任务负荷后的疲劳评估, 并计算出应用函数(程珊, 2015)。由于静态立位平衡测试操作简便, 对疲劳较敏感和非入侵性等特点, 十分适合应用于民航飞行员的疲劳测定。本研究通过模拟机飞行任务前后民航飞行员静态立位平衡能力变化, 探究其对疲劳的评估效果。

## 2. 对象与方法

### 2.1. 研究对象

选取民航现役飞行员 113 名, 男性, 平均年龄  $35 + 8.58$  岁。所有参与者在参与实验一月内无疾病

史, 均有正常航班任务, 实验前签署了《知情同意书》。

## 2.2. 研究工具与方法

### 2.2.1. 静态立位平衡测试

立位平衡仪的基本原理是通过不同的站立条件对视觉、前庭或下肢本体感觉施加影响, 从而评估不同条件下姿势控制的能力。静态立位平衡是操作最简单的平衡能力测试, 只须按要求安静地站立于装有压力传感器的平台上, 计算机系统就可以根据双脚各部分压力的变化描绘出整个身体的晃动轨迹, 从而计算出一系列的平衡参数。

### 2.2.2. NASA-TLX 测试

NASA-TLX 是由美国航空航天局开发的多维脑力负荷评价量表(Hart & Staveland, 1988), 涉及脑力需求、体力需求、时间需求、业绩水平、努力程度和受挫程度六个维度。该量表作为主观疲劳信效度较高的量表之一, 被用于疲劳研究(李津强, 2006)。

### 2.2.3. 方法

模拟机任务是民航飞行员日常飞行工作的重要组成部分, 可以模拟实际飞行情境和飞行中不常见的特殊情况, 因此, 选择模拟机任务作为负荷任务, 能最大限度的接近实际飞行负荷。在模拟机飞行训练中心选取符合条件的现役飞行员 113 名, 测试者均接受 3 小时任务的模拟机训练。训练 1 小时后休息时间测量 NASA-TLX 量表和静态立位平衡能力。3 小时模拟机任务结束后再次进行静态立位平衡能力和 NASA-TLX 测试。每名被试者需进行 4 种不同站立姿势的测试, 每种姿势测试 32 s, 即睁眼站立(NO)、闭眼站立(NC)、睁眼站立于脚垫上(PO)与闭眼站立于脚垫上(PC)。

## 3. 统计分析

本研究采集了 113 名民航飞行员的数据, 由于测量中仪器偏差、中途有人放弃部分测验等原因, 剔除了 33 人测量数据, 剩余 80 名飞行员的测量数据可用于统计工作。

### 3.1. 模拟机飞行任务对民航飞行员 NASA-TLX 评分的影响

随着模拟机任务时间的持续, 1 小时任务与 3 小时任务的飞行员主观疲劳量表 NASA-TLX 的成绩(1 h,  $3.46 \pm 0.82$ ; 3 h,  $4.68 \pm 0.97$ )发生显著改变( $F = 3.26, P = 0.017$ )。(见图 1)

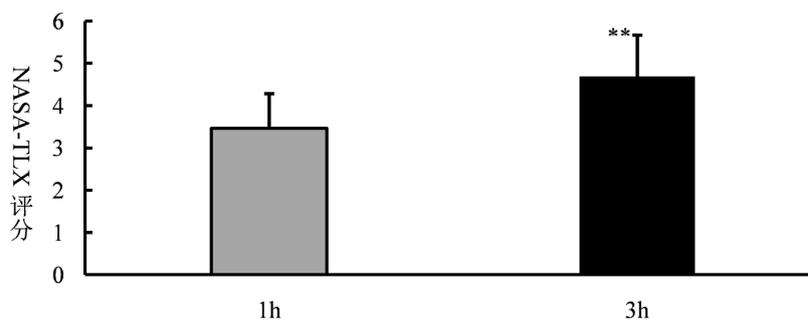


Figure 1. Impact of simulator flight time on NASA-TLX

图 1. 模拟机飞行时间对 NASA-TLX 的影响

### 3.2. 模拟机飞行任务对民航飞行员静态立位平衡功能的影响

在对 NO、NC、PO、PC 四种姿势的数据分析中, 我们发现只有 PO 姿势下的静态立位平衡能力变化

显著, 且 3 小时发生统计学差异的指标有 7 个, 分别是 F1, F3, F4, F6, WD2, EVA 与 SDy。该结果与程珊对大学生静态立位平衡能力的研究一致(程珊, 2015), 因此, 按照他研究中利用主成分分析法来计算静态立位平衡指数(SUBI):

$$\text{SUBI} = 3.065\text{F1} + 5.346\text{F3} + 13.161\text{F4} + 21.954\text{F6} + 37.446\text{WD2} + 115.454\text{EVA} + 114.183\text{SDy} + 23.746$$

算出飞行员静态立位平衡指数后发现, 飞行员 SUBI 值在经过 3 小时任务后显著下降。1 小时后 SUBI = 45.16 + 1.68; 3 小时后 SUBI = 52.13 + 2.37,  $F = 4.86^{**}$ ,  $P < 0.01$ 。(见图 2)

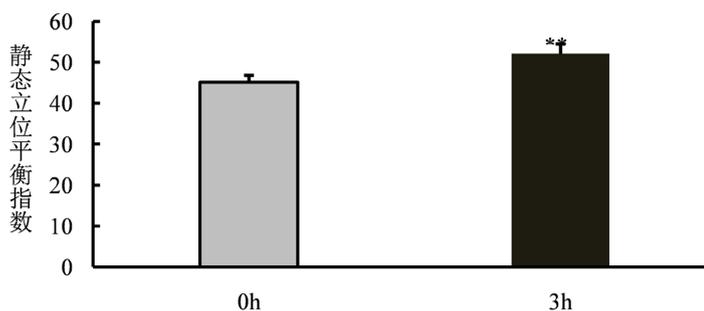


Figure 2. Impact of simulator tasks on SUBI

图 2. 模拟机任务对 SUBI 的影响

将静态立位平衡能力得分与飞行员主观疲劳量表 NASA-TLX 得分进行相关分析, 1 小时后的测量结果相关系数  $r = 0.24$ , 而 3 小时后相关系数  $r = 0.87$ 。说明任务负荷达到一定强度时, 静态立位平衡能力对疲劳的敏感性与主观疲劳量表一致。

### 3.3. 年龄对民航飞行员静态立位平衡能力的影响

研究将参与实验的飞行员按年龄分为三个层次, 20~30 岁, 31~40 岁, 40 岁以上。随着任务负荷时间的持续, 40 岁以上年龄组成绩发生了一定的变化。同时, 组间差异显示, 1 小时任务后, 三个年龄组的静态平衡能力指数(SUBI)差异不显著  $F = 1.21$ ,  $P = 0.879$ , 而 3 小时任务后, 41 岁以上平衡能力较另外两组显著下降( $F = 3.13$ ,  $P < 0.01$ )。(见表 1)

Table 1. Change of SUBI over time (n = 80,  $x \pm s$ )

表 1. SUBI 随时间变化(n = 80,  $x \pm s$ )

年龄组	1 h	3 h
20~30	45.731 ± 3.367	47.642 ± 1.617
31~40	44.880 ± 1.232	48.327 ± 3.061
41 以上	45.671 ± 0.590	57.901 ± 0.406**

注: \* $P < 0.05$  与 \*\* $P < 0.01$ 。

### 3.4. 飞行经验对民航飞行员静态平衡能力的影响

将飞行经验以飞行总小时数来衡量, 总飞行小时数越高则经验越丰富。用回归分析绘制散点图, 从图中得知, 在 10000 小时到 3000 小时这个区域, 飞行总小时数与静态立位平衡指数有线性回归的趋势, 其他区域无规律。(见图 3)

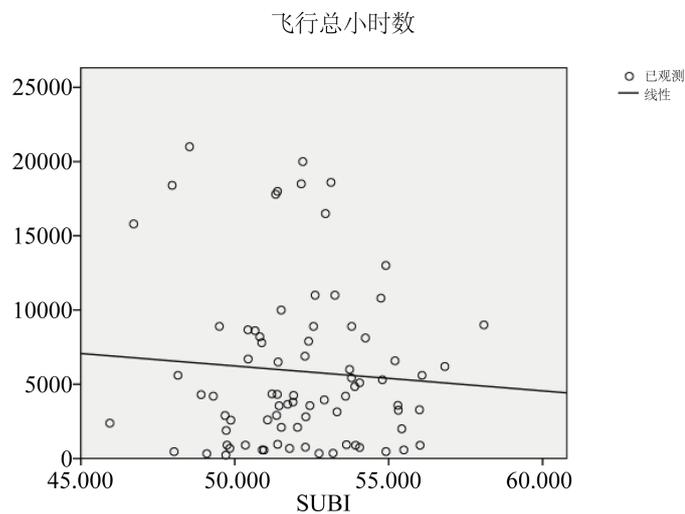


Figure 3. Relationship between SUBI and flight experience  
图 3. SUBI 与飞行经验的关系

#### 4. 讨论

近年来, 立位平衡能力作为快捷有效的疲劳测量方法, 被越来越多的研究者关注。国外学者 Morad 证实了静态姿势图的指标与睡眠剥夺下的斯坦福嗜睡量表评分具有相关性(Morad et al., 2007)。国内研究者也发现 24 小时的睡眠剥夺所致脑力疲劳对睁眼条件下的姿势控制能力影响显著(Ma et al., 2009)。程珊等人通过静态平衡指数与任务负荷水平呈现明显的线性关系初步证实了静态立位平衡功能可以在任务负荷所致的疲劳评估中发挥一定的作用(程珊等, 2017)。本研究将民航飞行员作为研究对象, 探讨其工作中疲劳的客观指标。在研究对模拟机飞行任务 1 小时和 3 小时后的疲劳状态进行对比时, 发现民航飞行员主观疲劳水平(NASA-TXL)与客观疲劳指标(SUBI)高度统一, 验证了静态立位平衡能力可作为测量民航飞行员模拟机任务导致疲劳的有效指标, 为后续继续讨论静态立位平衡能力与飞行员其他因素之间的关系奠定了基础。

在国内静态立位平衡的各类研究中, 大多建立在模拟飞行任务的基础上, 如人机功能分配任务、斯滕伯格双重任务、多重团体任务等(程珊, 2015)。而实际飞行任务飞行人员的操作环境更复杂, 心理认知水平消耗更大。因此, 本研究选用模拟机代替模拟飞行任务。根据中国民用航空局相关规定, 模拟机飞行是民航飞行员的工作之一, 并纳入年度职业考核中。因此, 模拟机可最大限度模拟真实飞行任务、环境甚至心理水平。研究发现, 在模拟机飞行 3 小时后, 飞行员静态立位平衡指数较飞行 1 小时显著升高, 表明 3 小时的飞行负荷已经产生了一定程度的疲劳。曾经国外一项专门针对飞行疲劳的研究表明, 在飞行模拟器上连续工作 4~5 h 的飞行员其飞行动作出错概率显著增大, 而这在信息量大且变化快的飞行环境中就意味着事故的高发可能性(Morris & Miller, 1996)。

在探讨静态立位平衡的影响因素中, 本研究关注了年龄和飞行经验两个指标。通过对不同年龄层飞行员静态立位平衡能力的测试, 发现 40 岁以上的飞行员在 3 小时模拟机飞行任务后疲劳更显著。过往研究已经证实, 年长者的感觉与运动功能比年轻人要差一些, 造成其姿势维持能力明显变差(Toledo & Barela, 2014)。由于在模拟飞行疲劳下, 尤其是对于长时间保持坐姿的飞行员来说, 人体下肢肌肉作为维持平衡的核心力量, 对平衡能力起到了关键作用, 年长者从机体肌肉的比例和认知功能的减退上, 都表现出与年轻者的差距(Nam et al., 2013)。从飞行经验与静态立位平衡能力指数的关系来看, 并没有出现高相关性, 仅仅在 3000 小时到 8000 小时这个飞行总小时数区间内, 疲劳一定程度上随飞行经验升高而降低了。导

致该结果的原因可能是,民航飞行员飞行经验在该区间的人年龄相对年轻,均在40岁以下,飞行经验的升高切实能够带来更稳定的技术和心理素质,应对模拟机任务也更加熟练。但当飞行小时数更高时(超过10000),年龄也已经超过40岁甚至45岁,经验带来的优势逐渐被年龄因素抵消。另一方面,飞行经验少(低于2000)的年轻飞行员,因技术、心理压力和熟练程度等原因,导致疲劳程度更高。

本研究已验证了静态立位平衡能力可有效应用于民航飞行员因飞行导致的疲劳测定,并发现超过40岁的飞行员在3小时的模拟机飞行任务后疲劳程度显著升高,飞行经验在一定的区间能够帮助飞行员应对疲劳。下一步,研究将把立位平衡对疲劳的测量延伸到实际飞行任务中。

## 基金项目

民航安全能力资金,项目编号:FSSA14000500800020J001。

## 参考文献

- 程珊(2015). 立位平衡功能在飞行任务负荷所致疲劳评估中的作用. 硕士学位论文,西安:第四军医大学
- 程珊,马进,张利利,孙继成,胡文东(2017). 静态姿势图在飞行任务负荷所致的疲劳评估中的作用. *现代生物医学进展* 17(22), 4254-4258.
- 范洁怡,程珊,杨克俭,等(2017). 脑力疲劳对飞行员功能状态的影响及其评定. *空军医学杂志*, 33(2), 73-75.
- 李津强(2006). 脑力疲劳检测方法的实验性研究. 硕士学位论文,西安:第四军医大学
- 王斌,马进,张利利,等(2012). 持续工作负荷所致脑力疲劳对静态平衡能力变化的影响. *航天学与医学工程*, 25(4), 251-255.
- Avni, N., Avni, I., Barenboim, E. et al. (2006). Brief Posturographic Test as an Indicator of Fatigue. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 60, 340-346. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1819.2006.01511.x>
- Forsman, P., Pyykkö, I., Toppila, E., & Hægström, E. (2014). Feasibility of Force Platform Based Roadside Drowsiness Screening—A Pilot Study. *Accident Analysis & Prevention*, 62, 186-190. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.09.015>
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). *Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research* (pp. 139-183). Elsevier Science Publishers. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- Ma, J., Yao, Y. J., Ma, R. M. et al. (2009). Effects of Sleep Deprivation on Human Postural Control, Subjective Fatigue Assessment and Psychomotor Performance. *Journal of International Medical Research*, 37, 1311-1320. <https://doi.org/10.1177/147323000903700506>
- Morad, Y., Azaria, B., Avni, I. et al. (2007). Posturography as an Indicator of Fatigue Due to Sleep Deprivation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 78, 859-863.
- Morris, T. L., & Miller, J. C. (1996). Electrooculographic and Performance Indices of Fatigue during Simulated Flight. *Biological Psychology*, 42, 343-360. [https://doi.org/10.1016/0301-0511\(95\)05166-X](https://doi.org/10.1016/0301-0511(95)05166-X)
- Nam, H. S., Park, D. S., Kim, D. H. et al. (2013). The Relationship between Muscle Fatigue and Balance in the Elderly. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 37, 389-395. <https://doi.org/10.5535/arm.2013.37.3.389>
- Toledo, D. R., & Barela, J. A. (2014). Age-Related Differences in Postural Control: Effects of the Complexity of Visual Manipulation and Sensorimotor Contribution to Postural Performance. *Experimental Brain Research*, 232, 493-502. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3756-1>