

文章编号:1674-8190(2020)01-020-07

# 睡眠剥夺在飞行员认知决策领域的研究探讨

初建杰<sup>1</sup>, 俱雅芳<sup>1</sup>, 王磊<sup>2</sup>, 陈彦蒿<sup>1</sup>

(1. 西北工业大学 工业设计与人机工效工业和信息化部重点实验室, 西安 710072)

(2. 菲舍尔航空部件(镇江)有限公司, 镇江 212132)

**摘要:** 随着航空技术的不断进步和发展, 飞机单程长距离飞行的技术难题正在解决, 在长时飞行复杂变化环境和高认知负荷情况下, 睡眠剥夺对飞行员的认知损害存在明显的影响。本文从睡眠剥夺对主体认知机能的影响分析切入, 分析睡眠剥夺对感知注意能力、执行功能的影响, 结合飞行员飞行认知需求, 总结相关研究的实验方法与研究结论, 并从感知、决策与执行三个方面分析睡眠剥夺对飞行员所致的影响, 指出睡眠剥夺对飞行员认知决策的研究方向, 对长时飞行条件下的驾驶舱总体设计具有借鉴意义。

**关键词:** 睡眠剥夺; 认知; 执行功能; 飞行员

中图分类号: V328.1; B842

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2020.01.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Research on Effects of Sleep Deprivation on Pilot's Cognitive Decision-making

CHU Jianjie<sup>1</sup>, JU Yafang<sup>1</sup>, WANG Lei<sup>2</sup>, CHEN Yanhao<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Industrial Design and Ergonomics, Ministry of Industry and Information Technology, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

(2. Fesher Aviation Components(Zhenjiang) Co., Ltd., Zhenjiang 212132, China)

**Abstract:** With the continuous progress and development of aviation technology, the technical problems of one-way long-distance flight are being solved. Sleep deprivation is of a significant impact on pilots' cognitive impairment in the complex environment of long-term flight and high cognitive load. Beginning with the analysis of the effect of sleep deprivation on cognitive function of subjects, and the effects of sleep deprivation on cognitive attention and executive function are analyzed. Combining with pilots' cognitive needs, the experimental methods and research conclusions of related studies are summarized, and the effects of sleep deprivation on pilots from three aspects of perception, decision-making and execution are analyzed. The research direction of sleep deprivation on pilots' cognitive decision-making is pointed, which can be used for reference in the overall design of cockpit under long-term flight conditions.

**Key words:** sleep deprivation; cognition; executive function; pilot

收稿日期:2019-05-31; 修回日期:2019-08-02

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(31020190504004); 高等学校学科创新引智计划 B13044

通信作者:俱雅芳, jyfg@mail.nwpu.edu.cn

引用格式:初建杰, 俱雅芳, 王磊, 等. 睡眠剥夺在飞行员认知决策领域的研究探讨[J]. 航空工程进展, 2020, 11(1): 20-26, 45.

CHU Jianjie, JU Yafang, WANG Lei, et al. Research on effects of sleep deprivation on pilot's cognitive decision-making[J].

Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2020, 11(1): 20-26, 45. (in Chinese)

## 0 引言

睡眠剥夺是指由于自身或工作原因无法满足正常睡眠要求的情况,可分为选择性睡眠剥夺和完全睡眠剥夺。睡眠剥夺会对包括注意、警觉性、感知能力、工作记忆、执行决策能力等在内的认知功能造成一定的损害<sup>[1-3]</sup>。飞行员的职业特性对认知功能有很高的要求,飞机驾驶舱繁多的人机交互界面和复杂多变的任务环境,对飞行员的认知决策和操作能力提出了更高的要求。同时,在面临飞机复杂显控界面操作下的长时飞行任务中,睡眠剥夺所致的疲劳驾驶和认知能力下降将给飞行操作安全带来更大的隐患和风险。随着航空技术的不断进步和发展,飞机单程长距离飞行的技术难题正在解决,长达十几小时甚至超过一昼夜的飞行任务成为飞行员未来必须面对的问题。而在睡眠短缺的情况下,飞行员在变化的任务环境中对信息的感知加工、适应及决策能力研究就成为飞行安全控制和风险防范的重要方面。

国内外睡眠医学、认知神经科学、实验心理学等不同领域皆从各自的角度研究睡眠剥夺对机体的影响,但是目前对飞行员在睡眠剥夺状态下的认知决策鲜有研究。本文将近年来在任务环境下进行睡眠剥夺对认知功能的影响研究进行综述,从而引发睡眠剥夺对飞行操作的认知机能影响的思考,从感知能力和执行功能的角度出发系统详述地总结相关研究进展,结合飞行员实际驾驶情况进行类比,以期为飞行员长航时飞行安全和风险管理提供进一步的研究思路与方向。

## 1 睡眠剥夺的认知影响研究

### 1.1 睡眠剥夺对感知注意能力的影响

#### 1.1.1 视觉感知能力延迟

感知觉是人脑通过感觉器官对外界刺激的把握,视觉是接受外界刺激和信息的一个重要感官通道。J. Tong 等<sup>[4]</sup>研究了一夜急性睡眠剥夺对动态视运动同步的影响,使用一个连续的视觉跟踪模式,目标以恒定的速度沿着圆形轨迹移动。结果发现,睡眠剥夺会降低视觉跟踪和跳视任务的表现。清醒 20~22 h 时,视同步运动发生了微小但显著的变化,在缺乏睡眠的情况下,平滑追踪眼动速度

降低,预测性追踪的准确性较低,这和 P. A. Fransson 的研究结果一致<sup>[5]</sup>,但仍能通过眼跳来适应睡眠剥夺对平滑追踪眼动的影响。

动态视力又称“动态视敏度”,指的是一个人在头部运动时能够看得很清楚的能力,是衡量人动态视觉能力的重要指标。动态视敏度测试(Dynamic Visual Acuity Test,简称 DVAT)通过测量头静止和头运动的视敏度之间的差异来评估凝视的不稳定性。M. R. Scherer 等<sup>[6]</sup>采用 DVAT 对 20 名士兵以 120 ~ 180 °/s 的角速度进行评估,在 26 h 睡眠剥夺前后分别获得主动和被动偏航和俯仰脉冲。结果表明,偏航动态视敏度在睡眠不足的情况下仍保持不变,26 h 睡眠剥夺对动态视力没有显著影响,但在实际的复杂任务中的表现仍不清楚。

视觉对比敏感度是视觉系统在明亮对比变化下对不同空间频率的正弦光栅的识别能力,衡量的是视觉系统辨认不同大小的物体时所需的物体表面最低黑白反差的物理量<sup>[7]</sup>,即衡量低亮度、低对比度视觉条件下的视功能。空勤和海勤等专业人员的工作特殊性要求他们应具有良好的对比敏感度<sup>[8]</sup>。飞行员在低视觉对比度环境下(如雨天、大雾等)需要辨别边界模糊的物体。V. F. Koefoed 等<sup>[9]</sup>采用 Vigna-C 系统评估 60 h 睡眠剥夺后对无彩色和彩色(红与绿、蓝与黄)的对比敏感度研究,在空间频率 2、5.9 和 11.8 cpd 下,在选定的 1% 统计显著性水平下,消色差和色差视觉对比度测量的方差在第 1 h 和最后 24 h 试验期间没有显著差异,说明长时睡眠剥夺不会导致正常视力的健康受试者在临床或职业上对比敏感度的显著变化,但研究的实验对象和测量次数较少,无法证实结论的普适性。

视觉空间认知定位能力是通过视觉、运动等感知觉联合对客体的识别,多涉及视觉再认、空间定位、轨迹追踪以及表象转换等高级认知加工,对空间作业能力有很大的影响。吴兴曲等<sup>[10]</sup>在 36 h 睡眠剥夺前后对青年军人进行视觉空间旋转任务的事件相关电位 P500 的测定,结果发现 36 h 后错误率升高近一倍、反应时间延长、潜伏期延迟、视觉空间旋转角度的典型线性函数消失,说明 36 h 睡眠剥夺在一定程度上损害了军人视觉—运动联结机制,从而损害了视觉空间认知定位能力。

综上,飞行员对驾驶舱面板注视区域重复观

察,连续相同的感知刺激将引发感知衰减,睡眠剥夺将会诱发神经系统对当前注视目标的感知延迟性增强,因此需要对睡眠剥夺下的飞行员视觉感知能力延迟过程与节点做进一步研究。

### 1.1.2 警觉性与注意力下降

目前研究表明,在警觉测试任务中睡眠剥夺会显著削弱警觉性,增加任务反应时间。R. P. Renn 等<sup>[11]</sup>使用 Flanker 任务和 Go/Nogo 任务研究睡眠剥夺对监控任务绩效的影响。与对照组相比,保持清醒约 34 h 的睡眠剥夺组在 Flanker 任务上的速度较慢,对照组随着时间的推移,对错误相关负电位反应中的错误表现出习惯性,但睡眠剥夺组无法适应反复出现的错误,把不必要的注意分配给重复的刺激将进一步减少有效信息处理的注意力资源。睡眠剥夺组的参与者对 Go 刺激的命中率准确性较低,对 Nogo 刺激做出错误警报反应的频率比对照组高 8%。事件相关电位 P300 在 Flanker 任务中被延迟,在 Go/Nogo 任务中减小,反映了注意力的下降。

C. E. Chern-Pin 等<sup>[12]</sup>研究了对于高度认知需求的分散注意力任务,睡眠剥夺是否会造成更大的损伤。在 40 h 睡眠剥夺过程中,受试者每两小时完成一项任务,包括:执行听觉 Go/Nogo 任务(aGNG);同时执行听觉和视觉 Go/Nogo 任务(aGNG 和 vGNG);同时执行听觉、视觉 Go/Nogo 任务和视觉引导电机跟踪任务。在睡眠不足的情况下,所有任务的表现都有明显的下降。在 aGNG 任务中对 Go 刺激没做出反应的频率几乎是对 Nogo 刺激反应的 4 倍。在需要分散注意力的跨任务中,睡眠剥夺组 aGNG 任务的失误比对照组显著多,表明在睡眠不足的情况下,分散注意力的能力会受到损害。而在双重任务和三重任务中,vGNG 任务上的表现没有显著差异,可能是由于视觉追踪任务的彩色视觉刺激优先引起注意。而 G. Dominique 等<sup>[13]</sup>发现,在 24 h 睡眠剥夺听觉变化察觉任务(Change Detection Task)中听觉任务的准确性和速度受到显著影响,在正常的睡眠状态下,准确性、平均和中间反应时间在特殊频率出现后均显著下降,但在睡眠剥夺状态下没有明显下降。即睡眠剥夺组不太容易将注意力转移到极少发生的小频率听觉刺激上,这意味着其分散注意力明显受到损害。同时在 E-Prime 的刺激实验中,睡眠剥夺 24 h 后反应准确率更低、反应时间更长、失

误更多,说明了警觉性的下降。C. E. Chern-Pin 等<sup>[12]</sup>还发现睡眠不足导致了视觉运动跟踪精度严重下降,但该研究不能评估分散注意力在其他类型的任务和认知领域的表现是否同样受到睡眠剥夺的影响。

综上,飞行中面对的不可控因素繁多,飞行员脑力疲劳会引发认知能力下降,唤醒水平降低。警觉性与注意力最容易受生理状态干扰,睡眠剥夺将加速脑力疲劳的发生,从而加快警觉性与注意力的下降,因此将其作为核心因素进行研究。

## 1.2 睡眠剥夺对执行功能的影响

### 1.2.1 工作记忆削弱

工作记忆是一个基本的认知过程,是在短时间内对信息进行暂时加工和贮存的容量有限记忆系统。A. Baddeley<sup>[14]</sup>提出工作记忆包括语音存储、视觉空间存储、情景存储和中央执行系统,前两个部分涉及存储信息,后两个部分涉及存储信息的管理和使用。语音部分侧重于处理与语音、阅读、语言理解和词汇习得相关的听觉信息,视觉空间组件负责处理视觉信息,包括图像以及物体在空间中的位置。睡眠剥夺会影响语言和视觉空间任务的表现,这涉及到工作记忆的语音和视觉空间成分。J. D. Angel 等<sup>[15]</sup>采用三级听觉和视觉 n-back 任务研究了 5 天睡眠不足对工作记忆存储成分的影响。结果表明连续五天每晚睡眠时间 4 h 会导致工作记忆的语音和视觉空间存储成分减少,并且睡眠不足对视觉空间的影响比语音效果的影响更显著,但该结论还需要对客观的睡眠参数和较大的样本量进一步证实。而 G. Dominique 等<sup>[13]</sup>发现视觉空间工作记忆任务中,睡眠 4 h 对视觉空间存储的表现影响不明显,而 24 h 睡眠剥夺则显著削弱最近出现的记忆图像的能力,但 Y. Hu 等<sup>[16]</sup>称该能力仍可通过增加注意力和执行功能弥补。

综上,飞行驾驶操作的严谨性与规范性,势必需要飞行员保持良好的工作记忆能力,工作记忆是飞行操作判断与决策的关键成分。随着长航飞行信息量成倍数的增加,睡眠剥夺可能会持续削弱其工作记忆的加工能力,因此对飞行员工作记忆的视觉成分需要进一步研究。

### 1.2.2 认知灵活性衰退

认知灵活性是当能够适当地反应变化以适应



新情境要求时,保持反应定势的思想和动作的灵活性<sup>[17]</sup>。认知灵活性对在复杂任务中尽快适应新情境并对新刺激作出反应具有重要意义。W. Gevers 等<sup>[18]</sup>采用 E-PRIME 2.0 软件的 stroop 测试研究睡眠剥夺对认知控制的影响。他们将 stroop 测试的表现划分为三层:第一层为忽略不相关信息的成功程度(例如选择性注意);第二层为自下向上的时序调制;第三层是自上而下的时序调制,反映认知控制的调整。在剥夺夜间 10 h 睡眠和睡眠 10 h 后,均明确观察到重复启动效应,说明自下而上的认知加工能力不受睡眠剥夺影响,重复刺激和反应的积极效果仍然保持。然而,冲突适应只有在睡眠一晚后才被观察到,说明剥夺夜间 10 h 睡眠影响了自上而下认知控制,这和 T. S. Horowitz 等的研究结果一致<sup>[19]</sup>,自上而下的冲突适应依赖于广泛的认知控制网络,一方面反映了认知资源的不足;另一方面,睡眠剥夺后冲突适应效应的消失,说明选择性注意也受到损伤。

综上,飞机航行处于复杂和不确定的环境,认知灵活性是飞行员对紧急情况与指令做出有效决策的根本影响因素。睡眠剥夺将会引发应对认知灵活性减弱,从而增加安全风险。

## 2 飞行员睡眠剥夺研究进展

### 2.1 飞行员认知决策

飞行员认知决策包括飞行感知、决策与执行,在飞行中起着至关重要的作用,是认知功能的主要体现。目前针对飞行员认知决策主要研究了飞行员的执行功能以及飞行事故的预测因素。执行功能对于处理飞行、监控发动机参数、规划导航、保持最新的态势感知、正确适应交通和环境变化以及通过抑制错误的行为响应来执行准确决策至关重要。

M. Causse 等<sup>[20]</sup>通过成套神经心理学测验研究了 24 名飞行员的转换、抑制和刷新三种执行功能,并研究了其效率与飞行导航性能以及在关键着陆阶段做出相关决策能力的关系。发现推理能力、工作记忆更新和飞行经验是飞行性能的预测因素,年龄与预测飞行表现无关,没有发现对处理速度的明显影响或是对抑制功能的明显影响,可能是由于使用的测验任务没有评估这些能力的因素。

Z. Chua 等<sup>[21]</sup>通过剑桥神经心理学成套测试(CANTAB)的空间工作记忆和空间规划及推理任

务研究了老龄化对大脑效率和执行功能的影响,发现 25 岁以下的年轻飞行员在空间工作记忆方面比 50 岁以上的老年飞行员更高效。在空间规划和推理方面,年龄对表现或大脑激活没有显著影响。近两年的飞行经验对实验室任务的表现或大脑激活都没有显著影响,但考虑到飞行时间和经验的影响,应有进一步的数据来支持这种潜在的关系。D. O'Hare 等<sup>[22]</sup>研究了 1 144 名新西兰飞行员的自我报告数据,发现与飞行事故有关的失败原因是没有选择合适的目标、策略或程序,而这些失败与认知能力丧失、精神状态下降、不利的环境心理条件、来自另一项任务的干扰和别的飞行员干扰。

飞行员必须同时处理、记忆和检索大量的视觉和听觉信息,操作飞机会产生很高的工作记忆负荷。C. Mickael 等<sup>[23]</sup>研究了工作记忆负荷处理语言和听觉干扰的影响,将视觉-听觉版本的 stroop 测验与事件相关电位和瞳孔测量相结合,电生理结果表明,高工作记忆负荷导致任务表现下降,瞳孔直径变大。工作记忆负荷增加增强了抑制控制,可能是由于对任务的高度认知参与可以减少分心以保证目标不受干扰信息的影响和对额外刺激的反应<sup>[24]</sup>。高度工作记忆负荷会降低飞行员处理、维护和执行口头指令以及对关键听觉警报作出反应的能力。

认知决策是飞行员信息加工的核心环节,机敏的感知与迅速的行为响应将保证安全驾驶操作,反之,睡眠剥夺等一系列主客观因素会对安全驾驶造成重大风险。

### 2.2 飞行员睡眠剥夺对认知决策的影响

近年来在睡眠剥夺领域对飞行员在任务环境下认知决策表现的研究较少。相关的研究实验总结如表 1 所示。多数研究采用了主客观任务测量与电生理信号测量结合的实验方法,研究的重点集中在工作记忆和认知表现,但飞行员样本相对较少,测量任务也采用其他认知任务代替。A. D. O'Hagan 等<sup>[25]</sup>研究了 24 h 睡眠剥夺对飞行员情绪、疲劳和任务能力的影响,发现自述情绪和主客观疲劳均明显增加,认知灵活性和手眼协调能力随时间推移显著下降,主观压抑情绪明显增加。然而,工作记忆和情境意识并没有受到睡眠剥夺的影响,与其他研究不一致,可能是实验任务具有主观性并且非航空特定任务。16 h 连续清醒后,认知表现明

显下降,表明在这段清醒期后,最佳功能下降。睡眠剥夺致使认知表现急剧下降的时长还有待进一步研究。Liu Z Q 等<sup>[26]</sup>观察了 32 h 持续睡眠剥夺对模拟飞行的认知影响。4 名受试者在真实飞行模拟器上完成加速、减速、俯仰、偏航、倾斜等操作,高度、俯仰角、横摆角、倾角偏差参数所示的飞行表现在睡眠剥夺期间有轻微恶化,受试者疲劳感和工作负荷均增加。睡眠剥夺对眼部运动有明显的影响,瞳孔缩小、扫视振幅降低和扫视速度变慢,平均注视时间显著增加,这与睡眠剥夺所致的疲劳有关,说明眼动参数对睡眠剥夺的敏感性高于飞行性能。但该研究样本量太小,将飞行表现没有显著变化归因于睡眠剥夺时间太短需要进一步证实。N. Lopez 等<sup>[27]</sup>考察了 35 h 连续睡眠剥夺对 10 名飞行员各种认知任务和模拟飞行中的表现的影响,采用多属性任务组(MATB)、心理运动警觉任务(PVT)和操作跨度任务(OSPAN)评估睡眠剥夺对多任务能力、警惕性和工作记忆的影响,每隔 3 h 进行模拟飞行。结果表明在后 17 h,所有测试的表现都有所下降,并且 PVT 和 OSPAN 得分与飞行表现变化具有良好的相关性,能够预测疲劳状态,可以作为此类研究的测试项目。

表 1 飞行员认知决策相关研究实验

Table 1 Correlational research experiments of pilot cognition decision

文 献	研究内容	方 法	样 本
[15]	工作记忆	连续五天睡眠限制 4 h 视听 n-back 任务	13 名 志愿者
[20]	执行决策能力	一组神经心理学测验	24 名 飞行员
[21]	空间工作记忆	神经心理学测验 近红外光谱成像	20 名 飞行员
[22]	飞行事故的 认知原因	飞行员调查报告	1 144 名 飞行员
[23]	语言能力	模拟飞行驾驶 电生理测试	24 名 飞行员
[25]	工作记忆	模拟飞行任务 主客观测量	7 名 志愿者
[26]	认知表现疲劳感	32 h 睡眠剥夺 模拟飞行任务 主客观测量	4 名 飞行员
[27]	认知表现	模拟飞行任务 电生理、眼动追踪 35 h 睡眠剥夺	10 名 飞行员

虽然大多数飞行员在睡眠不足时能保持正常飞行任务,但很大程度上依赖长时训练和飞行经验,而研究也表明,飞行经验确实能帮助飞行员对抗睡眠剥夺带来的不利影响。但在复杂工作环境中,尤其在夜间,睡眠剥夺时间越长,对于要求高度分散注意力的复杂任务,主观努力和认知投入不足以阻止睡眠剥夺的损害效应<sup>[28-29]</sup>,尽管可以使用咖啡因或药物来减缓睡眠剥夺期间的认知能力退化,但是可能会对随后的睡眠有不良影响<sup>[30]</sup>。同时有研究表明,当连续受限睡眠时间少于 4 h,复杂认知能力会严重下降<sup>[31]</sup>,这为轮班作业时长提供了一定依据。

综上,睡眠剥夺会造成飞行员认知灵活性下降、飞行操作表现恶化、视觉加工过程延迟、主客观疲劳增加、情绪恶化等。目前研究的局限在于实验对象,非飞行员且样本量少或实验任务非航空特定任务,在睡眠剥夺时间内测量工作能力。飞行环境中的各种变化和刺激是不确定的,而且飞行员要连续飞行很长时间,在试验研究中,参与者在规定的时间内进行一定的能力测试,并且有相对充分的放松休息时间,这些因素至少能在一段时间内提高后续的警觉性和表现。所以在研究中观察到的参与者表现恶化都极有可能在实际操作中进一步复杂化。一些与飞行员特定任务相关的因素,如主观疲劳、认知灵活性和工作记忆特别容易受睡眠剥夺的影响,有必要进一步使用更定期的测试时间点、更多样的航空特定任务考察更多种的作业能力情况。

### 3 飞行员睡眠剥夺研究方向

飞行员必须同时处理、记忆和检索大量的视觉和听觉信息,需要忽略不相关的干扰但又要对意外刺激保持敏感注意,在短时间内整合信息做出决策和反应,但现有研究在睡眠剥夺的情况下对认知决策的研究较少且较宽泛。在睡眠剥夺的情况下,飞行员的感知能力、注意力、忽视与任务无关的信息和有效地同时处理多项任务的能力均将受到影响和损害。

#### 3.1 飞行员感知能力

完全睡眠剥夺对视觉平滑追踪有一定影响,但仍可通过眼跳来补偿;对视觉空间认知定位能力有一定损害;对动态视力和对比敏感度没有显著影

响;对视听的持续注意力、选择性注意力、分散注意力有显著损害,削弱了对意外刺激的感知能力。但目前研究的样本和测量次数较少,实验任务单一,在复杂多变的飞行任务环境中的表现仍不清楚。未来的研究应将相关测试与复杂认知任务结合起来,并对最优睡眠量做更多探究,以保证飞行员持续作业时认知功能的稳定。

### 3.2 飞行员决策能力

飞行员在动态变化的任务环境中需要高度认知灵活性,根据变化的刺激信息刷新工作记忆,有效分配注意资源,正确判断所处情境并作出决策响应。在高度工作记忆负荷下,睡眠剥夺会损害飞行员认知灵活性、工作记忆、注意力,增加疲劳感和恶化精神状态,这些认知功能的损害可能使飞行员在长时间睡眠剥夺后无法安全有效地面对意外事件。进一步的研究有必要探索睡眠剥夺对飞行员在紧急事件以及持续复杂认知任务表现中的影响。例如当舱内气压、温度等环境条件发生变化或是处于过多刺激条件下,飞行员的感知与认知控制能力。

同时在驾驶舱显示设计中要考虑到长时飞行后,飞行员的视知觉能力、警觉性水平、手眼协调能力、选择性注意能力以及情绪状态等下降问题,采用多通道警报增强飞行员对危险刺激的感知,开发自动化调节系统减少飞行员多任务处理的情况,部署可能的技术用于监测和预测注意力故障以及语音控制等辅助飞行员决策执行。

### 3.3 飞行员执行能力

完全睡眠剥夺会使工作记忆的语音和视觉空间存储成分减少,连续睡眠不足对视觉空间的影响比语音效果更显著。视觉空间工作记忆广度与空间定向能力、空间视觉化能力均有很强的相关性<sup>[32]</sup>,未来应针对飞行员在睡眠剥夺状态下空间定向能力和语言输出能力做进一步的研究,尤其是在复杂气象环境以及高负荷任务下的适应水平。同时,睡眠剥夺损害了自上而下的认知控制,这可能会使飞行员在紧急意外事件中的判断决策和响应执行速度下降,在长时间睡眠剥夺后无法安全有效地面对意外事件。而处理外界刺激有关的自下而上的认知加工则不受睡眠剥夺的影响。进一步的研究应增大样本数量,关注经过航空任务中意外

事件训练的飞行员是否能在睡眠剥夺状态下更好地进行认知控制调整。

## 4 结束语

本文通过睡眠剥夺对认知机能的影响,结合飞行员的实际驾驶情况,提出在剥夺睡眠下飞行员认知决策的影响及解决方向。

目前的研究能够说明24 h以上的睡眠剥夺对飞行员的认知决策有明显的损害,尤其是视听注意力、认知灵活性、反应能力明显下降,这些认知功能的损害可能导致长时飞行时无法安全有效地面对意外风险。

但直接对飞行员进行睡眠剥夺实验的研究较少,研究覆盖面较窄,对多项重要影响因素鲜少涉及,从而无法获得更全面、更真实可信的数据。睡眠剥夺后,视听警报是否需要调整、如何调整,复杂变化的外界环境和高认知负荷对飞行员在长时间飞行过程中的心理状态影响,精神状态恶化对感知注意、执行能力的影响,如何融合设计学、神经医学、心理学等学科进行交叉研究为长航时飞行提供人机两方面相应的对抗策略等因素均需进一步研究与探讨。

### 参考文献

- [1] 杨遥,刘静,徐江涛.睡眠剥夺对认知功能的影响研究进展[J].现代生物医学进展,2013,13(4):791-794.  
YANG Yao, LIU Jing, XU Jiangtao. Progress of effects of sleep deprivation on cognitive function [J]. Progress in Modern Biomedicine, 2013, 13(4): 791-794. (in Chinese)
- [2] DUCLOS C, BEAUREGARD M P, BOTTARI C, et al. The impact of poor sleep on cognition and activities of daily living after traumatic brain injury: a review[J]. Australian Occupational Therapy Journal, 2015, 62(1): 2-12.
- [3] 冯忠胜,汤永红.睡眠剥夺致相关功能障碍的研究进展[J].世界睡眠医学志,2018,5(7):866-870.  
FENG Zhongsheng, TANG Yonghong. Research progress and prospect of sleep deprivation related functional impairment[J]. World Journal of Sleep Medicine, 2018, 5(7): 866-870. (in Chinese)
- [4] TONG J, MARUTA J, HEATON K J, et al. Adaptation of visual tracking synchronization after one night of sleep deprivation[J]. Experimental Brain Research, 2013, 232(1): 121-131.
- [5] FRANSSON P A, PATEL M, MAGNUSSON M, et al. Effects of 24-hour and 36-hour sleep deprivation on smooth pursuit and saccadic eye movements[J]. Journal of Vestibu-



- lar Research, 2008, 18(4): 209-222.
- [6] SCHERER M R, CLARO P J, HEATON K J. Sleep deprivation has no effect on dynamic visual acuity in military service members who are healthy[J]. *Physical Therapy*, 2013, 93(9): 1185-1196.
- [7] 朱超, 宋跃. 视觉对比敏感度的临床应用[J]. *眼科新进展*, 2006, 26(6): 466-469.  
ZHU Chao, SONG Yue. Clinical applications of visual contrast sensitivity[J]. *Recent Advances in Ophthalmology*, 2006, 26(6): 466-469. (in Chinese)
- [8] 贺极苍. 人眼空间图形视觉的评估及其临床应用[J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2010, 12(4): 241-244.  
HE Jicang. Assessment of human vision for spatial patterns and its clinical applications[J]. *Chinese Journal of Optometry Ophthalmology and Visual Science*, 2010, 12(4): 241-244. (in Chinese)
- [9] KOEFOED V F, AßMUS J, GOULD K S, et al. Contrast sensitivity and the effect of 60-hour sleep deprivation[J]. *Acta Ophthalmologica*, 2015, 93(3): 284-288.
- [10] 吴兴曲, 陈玖, 杨来启, 等. 36 小时睡眠剥夺对青年军人视觉-运动联结机制的影响[J]. *中国医学科学院学报*, 2013, 35(4): 439-443.  
WU Xingqu, CHEN Jiu, YANG Laiqi, et al. Impact of 36-hour sleep deprivation on visuo-motor coupling mechanism in young soldiers[J]. *Acta Academiae Medicinae Sinicae*, 2013, 35(4): 439-443. (in Chinese)
- [11] RENN R P, COTE K A. Performance monitoring following total sleep deprivation: effects of task type and error rate [J]. *International Journal of Psychophysiology*, 2013, 88(1): 64-73.
- [12] CHERN-PIN C E, ERIC F, GOOLEY J J, et al. Effects of total sleep deprivation on divided attention performance[J]. *PLOS ONE*, 2017, 12(11): 1-8.
- [13] DOMINIQUE G, JOSEPH D K, KENNETH C. Novel measures to assess the effects of partial sleep deprivation on sensory, working, and permanent memory[J]. *Frontiers in Psychology*, 2017, 8: 1607-1613.
- [14] BADDELEY A. Working memory: theories, models, and controversies[J]. *Annual Review of Psychology*, 2012, 63(1): 1.
- [15] ANGEL J D, CORTEZ J, DIANA Juárez, et al. Effects of sleep reduction on the phonological and visuospatial components of working memory[J]. *Sleep Science*, 2015, 8(2): 68-74.
- [16] HU Y, ALLEN R J, BADDELEY A D, et al. Executive control of stimulus-driven and goal-directed attention in visual working memory[J]. *Attention Perception & Psychophysics*, 2016, 78(7): 1-12.
- [17] 李美华, 白学军. 执行功能中认知灵活性发展的研究进展[J]. *心理学探新*, 2005, 25(2): 35-38.  
LI Meihua, BAI Xuejun. The research progress of the development of cognitive flexibility in executive function[J]. *Psychological Exploration*, 2005, 25(2): 35-38. (in Chinese)
- [18] GEVERS W, DELIENS G, HOFFMANN S, et al. Sleep deprivation selectively disrupts top-down adaptation to cognitive conflict in the Stroop test[J]. *Journal of Sleep Research*, 2015, 24(6): 666-672.
- [19] HOROWITZ T S, CADE B E, WOLFE J M, et al. Searching night and day: a dissociation of effects of circadian phase and time awake on visual selective attention and vigilance[J]. *Psychological Science*, 2003, 14(6): 549-557.
- [20] CAUSSE M, DEHAIS F, PASTOR J. Executive functions and pilot characteristics predict flight simulator performance in general aviation pilots[J]. *International Journal of Aviation Psychology*, 2011, 21(3): 217-234.
- [21] CHUA Z, CAUSSE M. Aging effects on brain efficiency in general aviation pilots[M]// Anon. *Advances in neuroergonomics and cognitive engineering*. Berlin: Springer International Publishing, 2017: 243-254.
- [22] O'HARE D. Cognitive functions and performance shaping factors in aviation accidents and incidents[J]. *International Journal of Aviation Psychology*, 2009, 16(2): 145-156.
- [23] MICKAEL C, VSEVOLOD P, FABRE E F. High working memory load impairs language processing during a simulated piloting task: an ERP and pupillometry study[J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2016, 10: 1-14.
- [24] SCHARINGER C, SOUTSCHEK A, SCHUBERT T, et al. When flanker meets the n-back: what EEG and pupil dilation data reveal about the interplay between the two central executive working memory functions inhibition and updating[J]. *Psychophysiology*, 2015, 52(10): 1293-1304.
- [25] O'HAGAN A D, JOHANN I, EOGHAN M G, et al. A pilot study exploring the effects of sleep deprivation on analogue measures of pilot competencies[J]. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 2018, 89(7): 609-615.
- [26] LIU Z Q, ZHOU Q X, XIE F. Effects of sleep deprivation on pilot's cognitive behavior in flight simulation[EB/OL]. [2019-05-31]. [https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-39173-6\\_6.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-39173-6_6.pdf).
- [27] LOPEZ N, PREVIC F H, FISCHER J, et al. Effects of sleep deprivation on cognitive performance by united states air force pilots[J]. *Journal of Applied Research in Memory & Cognition*, 2012, 1(1): 27-33.
- [28] JUNG C M, RONDA J M, CZEISLER C A, et al. Comparison of sustained attention assessed by auditory and visual psychomotor vigilance tasks prior to and during sleep deprivation[J]. *Journal of Sleep Research*, 2011, 20(2): 348-355.
- [29] KALIYAPERUMAL D, ELANGO Y, ALAGESAN M, et al. Effects of sleep deprivation on the cognitive performance of nurses working in shift[J]. *Journal of Clinical Diagnosis Research*, 2017, 11(8): 1.

济运行综合评价及灵敏度分析[J]. 电工电能新技术, 2016, 35(7): 8-16.

MA Liye, DING Rongrong, LU Zhigang, et al. Comprehensive evaluation and sensitivity analysis of economic operation of distribution network based on extension cloud model[J]. New Technology of Electrical Power, 2016, 35(7): 8-16. (in Chinese)

- [15] 汪群峰, 金佳佳, 米传民, 等. 基于灰色关联深度系数的评价指数客观权重极大熵配置模型[J]. 控制与决策, 2013, 28(2): 235-240.

WANG Qunfeng, JIN Jiajia, MI Chuanmin, et al. Evaluation index objective weight maximum entropy allocation model based on grey relational depth coefficient[J]. Control and Decision-making, 2013, 28(2): 235-240. (in Chinese)

### 作者简介:

房冠成(1988—),男,硕士,工程师。主要研究方向:飞机健康管理。

王海峰(1964—),男,博士,研究员,总设计师。主要研究方向:飞机设计。

官 霆(1966—),男,硕士,研究员。主要研究方向:飞机综合保障设计、健康管理。

贾大鹏(1985—),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:飞机健康管理。

刘海涛(1986—),男,硕士,工程师。主要研究方向:飞机健康管理。

(编辑:丛艳娟)

(上接第 26 页)

- [30] FRENDA S J, FENN K M. Sleep less, think worse: the effect of sleep deprivation on working memory[J]. Journal of Applied Research in Memory and Cognition, 2016, 5(4): 463-469.

- [31] WICKENS C D, HUTCHINS S D, LAUX L, et al. The impact of sleep disruption on complex cognitive tasks: a meta-analysis[J]. Human Factors: the Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 2015, 56(6): 1935-1941.

- [32] 吕长超. 大学生视觉空间认知能力与工作记忆广度的实验研究[D]. 西安:西北大学, 2008.

LÜ Changchao. An experiment study on the relationships between visuospatial ability and working memory span of college students[D]. Xi'an: Northwest University, 2008. (in Chinese)

### 作者简介:

初建杰(1981—),男,博士,副教授。主要研究方向:工业设计与人机工效。

俱雅芳(1997—),女,硕士研究生。主要研究方向:人机工效与情感化设计。

王 磊(1979—),男,博士,高级工程师。主要研究方向:工业设计与人机工效,复材制造技术。

陈彦蒿(1990—),男,博士研究生。主要研究方向:视觉工效,色彩与光环境。

(编辑:丛艳娟)