

• 论著 •

空中交通管制任务致脑力疲劳 对风险决策的影响

毛男 黄荷 魏巍 肖玮

【摘要】 目的 探究空中交通管制员(空管员)在脑力疲劳状态下风险决策的特征,为减少脑力疲劳状态下管制决策失误提供理论依据。 **方法** 采用自身前后对照设计。41 名空管员间断完成 6 h 空中交通管制任务,任务前后分别完成主观疲劳感、客观疲劳水平及风险决策评估,比较任务前后的评估结果。 **结果** 管制任务后主观疲劳感得分(39.98 ± 13.55)显著高于任务前(18.69 ± 8.17),差异有统计学意义($t=10.34, P<0.01$)。管制任务后作业绩效发生变化,反应能力测试的正确率由(55.19 ± 8.68)次/min 降为(49.43 ± 7.65)次/min,错误率由(0.80 ± 0.83)次/min 升高至(2.93 ± 3.38)次/min,反应时间由(805.75 ± 105.06)ms 延长至(860.42 ± 129.64)ms,差异均有统计学意义($t=2.572 \sim 4.297, P<0.01$ 或 0.05)。交通管制任务前后空管员剑桥赌博决策质量差异无统计学意义($P>0.05$)。决策时间由(2.16 ± 0.80)s 延长至(2.63 ± 1.08)s,差异有统计学意义($t=2.350, P<0.05$)。冲动指数、理性冒险指数、冒险指数分别由(0.15 ± 0.23)%、(0.64 ± 0.14)%、(0.60 ± 0.13)%增加至(0.27 ± 0.27)%、(0.71 ± 0.13)%、(0.68 ± 0.10)%,风险调节能力由 4.15 ± 3.37 降低至 1.27 ± 2.48 ,差异均有统计学意义($t=2.230 \sim 3.118, P<0.01$ 或 0.05)。 **结论** 脑力疲劳状态下空管员在进行风险决策时更倾向于冒险、冲动,对概率信息变得不敏感,不能对自身的决策行为进行有效调节。

【关键词】 精神疲劳; 决策; 问卷调查; 剑桥赌博任务; 空中交通管制员

【中图分类号】 R851.2 R853.9

Influence of mental fatigue caused by air traffic control tasks on risk decision making Mao Nan*, Huang He, Wei Wei, Xiao Wei. * Air Force Military Medical University, Xi'an 710032, China
Corresponding author: Xiao Wei, Email: 42958732@qq.com

【Abstract】 Objective To investigate the characteristics of risk decision making of air traffic controllers under the state of mental fatigue, and to provide the theoretical basis for reducing decision errors under these circumstances. **Methods** This study adopted self-controlled design. Forty-one air traffic controllers intermittently completed 6 h air traffic control task. The subjective fatigue index, objective fatigue level and risk decision evaluation were compared before and after the task. **Results**

DOI:10.3760/cma.j.issn.1007-6239.2017.04.003

基金项目:陕西省自然科学基金(2014JM4130)

作者单位:710032 西安,空军军医大学医学心理系航空航天心理学教研室(毛男、黄荷、肖玮);710082 西安,中国民航西北空管局空中交通管制中心(魏巍)

通信作者:肖玮,Email: 42958732@qq.com

The subjective fatigue index of air traffic controllers was significantly increased by 6 h air traffic control task (39.98 ± 13.55 vs. 18.69 ± 8.17 ; $t = 10.34$, $P < 0.01$). The performance of task demonstrated that the correct rate of reaction test decreased [(55.19 ± 8.68) times/min vs. (49.43 ± 7.65) times/min; $t = 3.877$, $P < 0.01$], the error rate increased [(0.80 ± 0.83) times/min vs. (2.93 ± 3.38) times/min; $t = 4.297$, $P < 0.01$] and the reaction time prolonged [(805.75 ± 105.06) ms vs. (860.42 ± 129.64) ms; $t = 2.572$, $P < 0.05$] when completing 6 h air traffic control task. The result of Cambridge gambling task showed that the decision quality did not changed ($P > 0.05$); decision time prolonged [(2.16 ± 0.80) s vs. (2.63 ± 1.08) s; $t = 2.350$, $P < 0.05$]; impulse index, rational adventure index and adventure index increased [$(0.15 \pm 0.23)\%$, $(0.64 \pm 0.14)\%$, $(0.60 \pm 0.13)\%$ vs. $(0.27 \pm 0.27)\%$, $(0.71 \pm 0.13)\%$, $(0.68 \pm 0.10)\%$; $t = 2.230-3.118$, $P < 0.01$ or 0.05] and risk-adjusted capacity reduced (4.15 ± 3.37 vs. 1.27 ± 2.48 ; $t = 3.705$, $P < 0.01$). **Conclusions** Under the condition of mental fatigue, the air traffic controllers exhibit more likely to take risks, less sensitive to probability information, and fail to adjust their behavior effectively in the process of decision-making.

【Key words】 Mental fatigue; Decision making; Questionnaires; Cambridge gambling task; Air traffic controller

空中交通管制员(以下简称“空管员”)的工作是空中交通管制运行体系中最直接的保障环节,空管员的判断与决策能力对管制的安全高效起着至关重要的作用。空中交通管制是一项高认知负荷作业,空管员工作时需要通过观察雷达屏幕、收听陆空通话整合各种信息,适时做出决策判断,并通过语言将指令传达给飞行员。工作负荷高,脑力劳动强度大,很容易出现疲劳状态。已有研究证明,空管员疲劳状态会导致认知能力和警觉水平下降,进一步造成空管员决策差错、记忆遗漏、违章操作等不安全行为,以及易怒、焦虑等不良情绪,影响班组成员之间的协作配合^[1-2]。

风险决策(risk decision making)是涉及分析、探索和选择的复杂认知活动,是指在一系列不确定的情景下进行选择的过程^[3]。空管员的主要工作内容就是必须在极短时间内计算、判定飞机动态趋势,依据空域、航线、气象、飞行高度等方面的信息,迅速准确地做出一个又一个管制决策,具有时效性、风险性^[4]。影响风险决策结果的因素有很多,但目前脑力疲劳(mental fatigue)对空管员风险决策的影响却少有研究触及,更缺少进入空管现场的实地研究。本研究采用现场研究的方式,通过管制任务诱发脑力疲劳,以剑桥赌博任务(Cambridge gambling task, CGT)作为风险决策研究范式^[5],旨在探讨常规管制任务诱发脑力疲劳如何影响管制员的决策功能,为减少管制失误提供理论参考。

对象与方法

一、对象

中国民航西北空管局选取 41 名空管员,男性 38 名,女性 3 名,平均年龄(29 ± 5)岁,身体健康,无器质性疾病。由于空管员是倒班制度,每次上岗 2 h,然后休息 2 h,两组交替上岗,以早 8:00 上岗的一组作为研究对象。

二、方法

采用自身前后对照设计。选择白天最后一班(16:00—18:00)结束作为相对疲劳状态,即间断完成 6 h 空中交通管制工作。选择 3 周后(消除练习效应)且休息 2 d 之后的早接班前作为非疲劳状态。为保证受试者的依从性和动机,根据赌博任务成绩对受试者给予礼品奖励。

1. 疲劳程度评测

(1)主观评价:采用职业卫生领域广泛应用的主观疲劳感症状问卷^[6],内容包括一般状况分量表、精神状态分量表和身体不适分量表。本研究中采用 0~4 分 5 级评分,分数越高表明个体脑力疲劳程度越高。

(2)绩效测定:采用原第四军医大学航空航天医学系编制的反应能力测试程序^[7],包括界面反应和应答器。显示界面为 9 个呈圆形排列的发光二极管(light emitting diode, LED)灯,共有红、黄、绿 3 个颜色,每个颜色各 3 个。应答器为不同颜色

的 3 个按键,分别对应 LED 灯的颜色。显示界面在程序的控制下每次以伪随机方式亮起 1 个 LED 灯,受试者按下应答键做反应,如果反应正确,该灯熄灭,同时新的灯亮起;如果反应错误,该灯不会熄灭,直至按键正确。测试时间 2 min,程序自动计算每分钟反应正确的次数、错误次数以及每次从灯亮起到按键的平均反应时间(ms),可以用来评价受试者的选择反应时,这里作为反映基本认知功能和疲劳水平的指标。

2. 风险决策水平测试:风险决策水平测试采用 CGT,该任务是 Rogers 等^[5]人在评估眶额叶皮层受损患者的决策障碍时研发出来的,主要考察决策者在获益和损失概率已知的风险条件下如何决策,目的在于评价决策者在做决策时的决策质量、冒险性、冲动性以及风险调节能力。CGT 在计算机上进行,电脑屏幕上呈现 10 张卡片,一些是红色的,另一些是蓝色的(图 1,见封二)。在这 10 张卡片中,其中有一张下面藏有黄色代币。受试者的任务是决定哪一种颜色的卡片下藏有代币,并要下一定比率的赌注,赌注是以点数的形式来表示的,受试者的初始点数为 100。红色卡片与蓝色卡片的数量比有 9 种情况:9:1、8:2、7:3、6:4、5:5、4:6、3:7、2:8、1:9。受试者可以选择不同的赌注,赌注占受试者当前拥有点数的比例有 5 种:5%、25%、50%、75%、95%,下多少赌注由受试者决定,试验中赌注呈现的顺序有升序和降序两种,赌注显示:总钱数的百分比和实际钱数,3 s 变换 1 次,若呈现到最后一个数字时受试者没有选择,则默认为最后一个数字为赌注。屏幕上会显示结果,如果赌赢了则增加相应的点数,输了则减去相应的点数。如果受试者的点数降到 1,则当前的试验结束,自动进行下一轮试验。在试验过程中,受试者共下注 36 次。CGT 的数据分析主要有 6 个变量:①决策质量(quality of decisions):以受试者选择卡片数量较多的那种颜色的次数为指标(5:5 的情况不做分析),所占比例较大的颜色的卡片下更有可能藏有代币,好的决策应是一贯地选择卡片数量较多的颜色且不需要花太多时间(次);②决策时间(decision time):是指受试者考虑哪一种颜色的卡片下藏有黄色代币的时间,即受试者从

某次赌博开始到按下颜色选择键的时间(s);③理性冒险指数(rational adventure index):每次理性(选择多数颜色)决策下注的均值(%) (不包括 5:5 且不包括选择少数颜色);④冒险指数(adventure index):押注的均值(%) (36 次下注的平均值);⑤冲动指数(impulse index):赌注降序出现时下注的均值-赌注升序出现时下注的均值(%);⑥风险调节(risk-adjustment):个体投入的代币占其当前拥有代币的比例,每一轮试验红色卡片与蓝色卡片的数量比例都会随机变化,代表每次决策都有不同的风险,个体需要相应地调整下注比率以使其能尽可能多的赢得代币,这种随着输赢的概率变化而调整赌注是一种风险调节行为,但如果受试者不考虑红蓝色卡片比率而一味投入高赌注或低赌注,表示受试者过于冒失或过于保守,缺乏根据风险概率精确调控行为的能力,计算风险调节能力的方法为: $[2 \times (\text{下注 } 9:1 \text{ 的赌注}) + (\text{下注 } 8:2 \text{ 的赌注}) - (\text{下注 } 7:3 \text{ 的赌注}) - 2 \times (\text{下注 } 6:4 \text{ 的赌注})] / 36 \text{ 次平均下注的赌注}^{[5,8]}$ 。

3. 试验过程:所有空管员在疲劳状态下,即间断完成 6 h 空中交通管制工作后,完成疲劳程度评估,而后进行 CGT。3 周后的非疲劳状态下重复以上测试。

三、统计学分析

采用 SPSS 19.0 统计软件分析数据。试验数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,疲劳感差异比较、CGT 结果比较采用配对样本 t 检验,以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

结 果

一、疲劳程度变化

空管员完成管制任务后主观疲劳感问卷得分为 (39.98 ± 13.55) ,明显高于任务前 (18.69 ± 8.17) ,差异具有统计学意义($t = 10.34$, $P < 0.01$)。管制任务后作业绩效发生变化,反应能力测试的正确率降低、错误率增高、反应时间延长($P < 0.01$ 或 0.05 ,表 1)。主客观疲劳感分析表明经过 6 h 管制任务后空管员脑力疲劳水平有了明显变化。

二、风险决策水平变化

由表 2 可见,6 h 管制任务后空管员的决策质

量较非疲劳状态没有明显变化,但决策时间延长($P<0.05$),理性冒险指数、冒险指数、冲动指数增加($P<0.01$ 或 0.05),风险调节能力降低($P<0.01$)。

表 1 41 名民航空中交通管制员管制任务前后作业绩效比较($\bar{x}\pm s$)

Tab 1 Comparison of working performance among 41 civil air traffic controllers before and after control tasks ($\bar{x}\pm s$)

状态 Status	正确率 Correct rate (次/min)	错误率 Error rate (次/min)	反应时间 Reaction time (ms)
任务前 Before the task	55.19±8.68	0.80±0.83	805.75±105.06
任务后 After the task	49.43±7.65	2.93±3.38	860.42±129.64
<i>t</i> 值 <i>t</i> value	3.877	4.297	2.572
<i>P</i> 值 <i>P</i> value	0.000	0.000	0.014

讨 论

空中交通流量日益增加,空域环境复杂多变,使空管员面临的压力增大,其疲劳上岗已成为航空安全高效发展的瓶颈。中国民用航空局已将空管员的疲劳管理为一项长期研究的重要课题^[9]。由于工作负荷高,空管员长时间处于紧张状态容易导致脑力疲劳,主要表现为注意力不集中、思维迟缓、反应迟钝等,错误的理解机组的报告和意图,容易造成决策差错。本研究结果也显示,间断完成 6 h 管制任务后,空管员主观疲劳感明显增加,反应时间延长,易遗漏重要信息,预判能力下降。也有研

究显示,睡眠质量与疲劳状况存在显著的相关性^[10]。由于工作特殊性,空管员的睡眠质量明显低于普通成年人,长期轮班造成的睡眠质量降低导致疲劳积累^[11],进而使空管员在完成昼间管制任务后更容易出现疲劳感。

风险决策的好坏主要取决于概率评估能力和风险调节能力^[3]。空中交通管制工作是一项高风险的特殊职业,要求空管员合理分配注意力,准确评估不安全事件发生概率,并迅速清晰地做出管制决策,因此需要保持高水平的概率评估和风险调节能力。

一、脑力疲劳使空管员概率评估能力降低

研究表明脑力疲劳状态下注意力与执行控制能力显著下降,接受和处理信息的速度减慢,即认知能力下降和认知速度变缓^[12-14]。本研究结果显示,空管员在完成管制任务后反应时间及决策时间延长,运用分析性思维进行推理判断的动机下降,因此空管员在脑力疲劳状态下需要更多时间进行概率评估,以做出恰当决策。管制任务负荷前后决策质量差异无统计学意义,说明空管员能够通过延长决策时间来弥补脑力疲劳对决策质量的影响。同时空管员在疲劳状态下表现出低估风险事件发生的概率,冒险性增强。本课题组前期的研究结果也显示,脑力疲劳组受试者在爱荷华赌博任务的风险决策阶段虽能感知风险变化,但感知风险的能力降低,进而导致在后期的决策中表现出冒险倾向^[15]。本研究结果显示,脑力疲劳状态下空管员冲动指数更高,在进行概率判断、风险评估时,不能保持清晰思路,在情况变化时容易做出冲动行为。

表 2 41 名民航空中交通管制员管制任务前后剑桥赌博任务表现比较($\bar{x}\pm s$)

Tab 2 Comparison of Cambridge gambling task performance among 41 civil aviation air traffic controllers before and after their control tasks ($\bar{x}\pm s$)

状态 Status	决策质量 (次) Quality of decisions (times)	决策时间 Decision time (s)	理性冒险指数 Rational adventure index (%)	冒险指数 Adventure index (%)	冲动指数 Impulse index (%)	风险调节 Risk-adjustment
任务前 Before the task	28.51±4.86	2.16±0.80	0.64±0.14	0.60±0.13	0.15±0.23	4.15±3.37
任务后 After the task	27.05±5.53	2.63±1.08	0.71±0.13	0.68±0.10	0.27±0.27	1.27±2.48
<i>t</i> 值 <i>t</i> value	1.439	2.350	2.592	3.118	2.230	3.705
<i>P</i> 值 <i>P</i> value	0.158	0.024	0.013	0.003	0.031	0.001

脑力疲劳引起的认知反应速度变缓,对于风险事件的概率评估能力降低,可能会导致空管员遗漏重要信息,在未能准确评估风险的情况下冲动发布指令,从而引发空管员出现错误与疏忽、简化操作程序等不安全行为。

二、脑力疲劳使空管员风险调节能力降低

CGT 在模拟现实情境时能够将受试者的风险偏好和冲动性进行有效分离,从而计算出受试者的风险调节能力。在风险较小时(比如红蓝比例为 9:1)倾向于下高赌注,而在风险较大时(比如红蓝比例为 6:4)倾向于下低赌注,这种随着风险大小而调整赌注的能力高则表示个体风险调节能力强^[16]。事实上,根据风险水平调节决策行为的能力对个体在现实生活的决策有重要影响。相对于非疲劳状态,疲劳状态下空管员的风险调节能力降低,即不能很好地随着风险的不同调整下注比例的大小,出现了概率信息变化变得不敏感、不能较好的对自身风险行为进行精细调节、决策模式变得粗犷的现象。空管员的主要工作内容就是必须在极短时间内计算、判定飞机动态趋势,依据空域、航线、气象、飞行高度等方面的信息,适时调整管制决策,将危险出现的概率降到最低。因此,精细的风险调节能力对于空管员来说至关重要,如若不能够根据现实状况及时调整决策策略,高估或低估风险事件发生的概率,很容易出现管制决策偏差,进而威胁航空安全。

本研究从个体状态因素角度出发,深入管制一线,以在职空管员作为研究对象,进行现场研究,考察了空管员在间断完成 6 h 管制任务后即脑力疲劳状态下风险决策的变化特点,结果显示脑力疲劳易造成管制人员冲动、冒险决策,风险调节能力降低。研究结果为管制人员正确认知自身状态及风险决策变化特点,以及提示应进一步优化值班轮岗设计提供了参考依据。

参 考 文 献

[1] Wilson GF, Caldwell JA, Russell CA. Performance and psychophysiological measures of fatigue effects on aviation related tasks of varying difficulty[J]. Int J Aviat Psychol, 2007, 17(2):219-247.

- [2] Williamson A, Lombardi DA, Folkard S, et al. The link between fatigue and safety[J]. Accid Anal Prev, 2011, 43(2): 498-515.
- [3] Rosness R. A contingency model of decision-making involving risk of accidental loss[J]. Saf Sci, 2009, 47(6): 807-812.
- [4] 丰婷,罗帆. 应对方式对管制员工作压力与指挥决策失误的影响[J]. 安全与环境学报, 2014, 14(3):72-76.
- [5] Rogers RD, Everitt BJ, Baldacchino A, et al. Dissociable deficits in the decision-making cognition of chronic amphetamine abusers, opiate abusers, patients with focal damage to prefrontal cortex, and tryptophan-depleted normal volunteers: evidence for monoaminergic mechanisms[J]. Neuropsychopharmacology, 1999, 20(4):322-339.
- [6] Fukuda H, Takahashi M, Arito H. Nurses' workload associated with 16-h night shifts on the 2-shift system. I: Comparison with the 3-shift system[J]. Psychiatry Clin Neurosci, 1999, 53(2):219-221.
- [7] 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.
- [8] 严万森,李纾,隋南. 成瘾人群的决策障碍:研究范式与神经机制[J]. 心理科学进展, 2011, 9(5):652-663.
- [9] 孙涛,陈宇. 空中交通管制员的疲劳管理和预防[J]. 空中交通管理, 2005(5):4-10.
- [10] Carpenter JS, Andrykowski MA. Psychometric evaluation of the Pittsburgh Sleep Quality Index[J]. J Psychosom Res, 1998, 45(1):5-13.
- [11] 孙瑞山,李天任. 空中交通管制员睡眠质量与疲劳状况调查研究[J]. 安全与环境工程, 2017, 24(3):164-169.
- [12] Harrison Y, Horne JA. One night of sleep loss impairs innovative thinking and flexible decision making[J]. Organ Behav Hum Decis Process, 1999, 78(2):128-145.
- [13] Boksem MA, Meijman TF, Lorist MM. Effects of mental fatigue on attention: an ERP study[J]. Brain Res Cogn Brain Res, 2005, 25(1):107-116.
- [14] 邵永聪,叶恩茂,王富贵,等. 睡眠剥夺影响脑执行功能的心理生理研究[J]. 军事医学, 2011, 35(9):666-671.
- [15] 毛男,黄荷,冯田,等. 模拟飞行任务致脑力疲劳对不确定性决策的影响[J]. 中华航空航天医学杂志, 2016, 27(3):168-173.
- [16] Parker AM, Bruine de Bruin W, Fischhoff B. Negative decision outcomes are more common among people with lower decision-making competence: an item-level analysis of the Decision Outcome Inventory (DOI)[J]. Front Psychol, 2015(6): 363.

(收稿日期:2017-01-15)

(本文编辑:马月欣)

空中交通管制任务所致脑力疲劳对风险决策的影响

(正文见第 255 ~ 259 页)

Influence of mental fatigue caused by air traffic control tasks on risk decision making
(Original article on page 255 - 259)

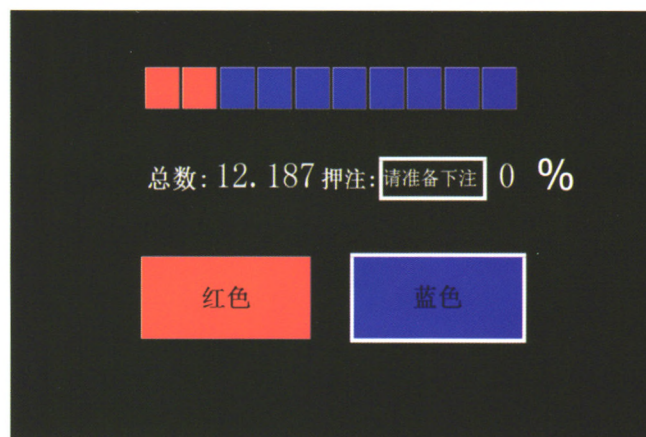


图1 剑桥博弈任务

Fig 1 Cambridge gambling task

5 例飞行人员疥疮临床诊治及航空医学鉴定探讨

(正文见第 287 ~ 288 页)

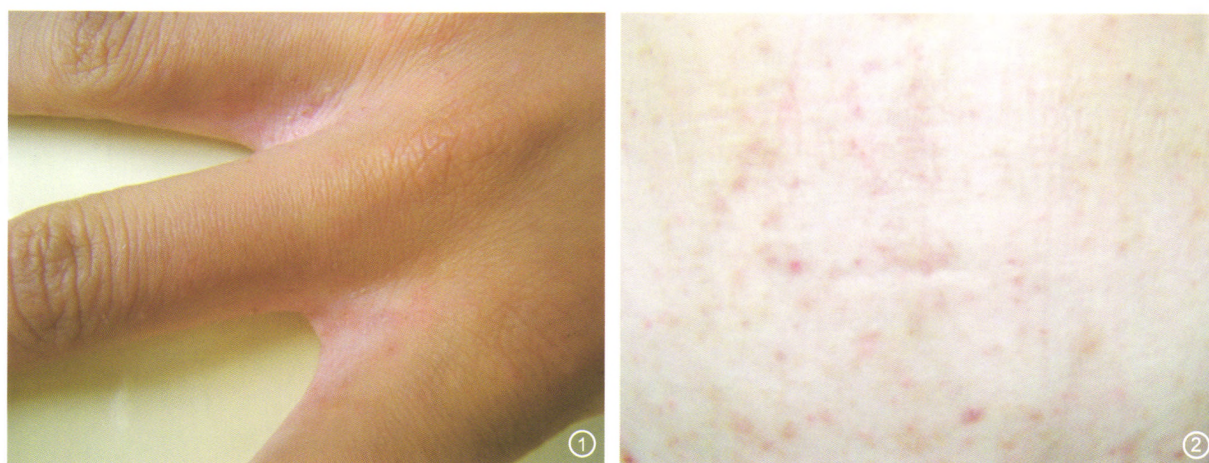


图1 1例飞行员指缝可见多处细小丘疹和丘疱疹、浅灰色隧道

图2 1例飞行员腹部、腹股沟处多数散在针尖大小丘疹、丘疱疹，搔抓至部分破溃、顶点结痂