DOI:10.16016/j.2097-0927.202307083

陆军飞行人员作业效能提升研究现状与展望

朱 莹,杨 策 400042 重庆,陆军军医大学(第三军医大学)大坪医院特殊环境战伤防治研究室,创伤与化学中毒全国重点实验室

[摘要] 陆军飞行人员是“机动作战、立体攻防”的重要战斗力量,保障和提升飞行人员作业效能是陆军航空医学(陆航医学)重点关注的科学问题。随着高性能直升机列装使用,陆军航空部队作战、训练方式和强度也随之动态变化,陆军飞行人员作业效能提升对于确保任务的完成至关重要。在陆军飞行器、航空环境影响直升机飞行人员生理-心理状况的理论体系中,既往陆航医学在保障飞行人员身心健康、提升作业效能方面做出重要贡献。基于新时期和未来陆军直升机飞行人员作业中存在的健康挑战和卫勤保障需求,本文着眼于飞行环境改善、个体防护保障和机体耐力提升等方面,系统回顾陆航医学在飞行人员作业效能提升方面的研究进展,展望未来研究方向;旨在为全链条、多维度保障陆军飞行人员身心健康,提升作业效能提供借鉴和启示。

[关键词] 直升机;特殊环境;作业效能;疲劳;空间定向障碍
[中图法分类号] R821.21; R851.6 [文献标志码] A

Research status and prospects on improving operational efficiency of army aviation pilots

ZHU Ying, YANG Ce State Key Laboratory of Trauma and Chemical Poisoning, Department of Special War Wound, Daping Hospital, Army Medical University (Third Military Medical University), Chongqing, 400042, China

[Abstract] Army aviation pilots play a crucial role in “mobile operations, three-dimensional attack and defense”, so how to ensure and improve their operational efficiency becomes a scientific problem of concern in army aviation medicine. As the deployment of high-performance helicopters, dynamic changes come in operational, training, and intensity of the Army Air Force, whereat, it is vital to improve the operational efficiency of the flight personnel to ensure mission completion. In the theoretical system about the impact of army aircraft and aviation environment on the physiological and psychological conditions of army aviators, past research in army aviation medicine has made significant contributions to ensuring their physical and mental health and to improving their operational efficiency. Considering the health challenges and medical support needs of army aviators in the new era and future, we, with an eye to the aspects of flight environment, individual protection and body endurance, systematically review the progress in army aviation medicine related to improving operational efficiency, and furthermore, bring forward to future research directions. We aim to provide reference and inspiration for improvement of operational efficiency in army aviators in terms of comprehensive and multi-dimensional support for their physical and mental health.

[Key words] helicopter; special environment; operational efficiency; fatigue; spatial disorientation

Supported by the Special Project of Academician-Leaded Scientific and Technological Innovation Guidance Program (2022YSZX-JCX0015CSTB) and the Project of Talent Innovation Capacity Training of Army Medical Center of PLA (ZXZYTSYS11). Corresponding author: YANG Ce, E-mail: sepsismd@126.com

[基金项目] 院士牵头科技创新引导专项(2022YSZX-JCX0015CSTB);陆军特色医学中心人才创新能力培养计划(ZXZYTSYS11)
[通信作者] 杨 策,E-mail: sepsismd@126.com

2097-0927/Copyright © 2024, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

陆军航空兵作为以直升机为主战装备的高技术兵种,是提高陆域作战能力的重要作战力量。随着现代作战模式的改变,陆军航空兵除打击敌方作战力量之外,还承担侦察、巡逻、战场补给、救护救援及通信等任务[1]。经过30余年的建设,我军陆航部队已成为一体化联合作战中攻运结合、察打一体,装备精良、信息化程度较高的精锐力量。

然而,直升机的特殊作业环境给陆航医学保障带来严峻挑战。随着直升机续航能力和作战半径的不断增加,与此相适应的直升机长航时效能保障成为陆航医学研究的重要方向。陆航飞行的效能是指飞行人员在有目的、有组织的飞行任务中所表现出来的效率和效果,是衡量飞行人员所执行任务完成度的重要尺度。陆军飞行人员的特殊的工作环境如作息模式、高度紧张的状态、繁重的任务压力、直升机持续的振动和噪音、复杂多变的飞行环境等因素会影响其效能,是制约陆军飞行人员效能提升的关键。对此,本文系统回顾陆航医学在飞行人员效能提升方面的研究进展,旨在为陆军飞行人员作业效能提升寻求新的理论和技术支撑。

1 陆军飞行人员作业效能提升的关键制约因素

1.1 飞行人员的健康状况

陆军飞行人员的工作环境相对复杂而特殊。他们经常在恶劣天气或复杂地形条件下执行任务,加上高强度的训练和工作压力,使其身心健康长期处于高风险状态。由此导致多种身体疾病的风险暴露。首先,持续的飞行振动和噪音可能对飞行人员的听力造成损害,引发听力问题和耳鸣等症状。其次,长时间处于高海拔环境也可能导致对心血管系统的负荷增加,引发心脏疾病和血液循环问题。而长期暴露在紫外线辐射下,缺乏足够的防护措施,可能会引发皮肤问题和光老化。此外,由于飞行人员需要保持长时间坐姿,可能导致脊柱、颈部和关节问题,如腰椎间盘突出和颈椎病等。

徐先荣教授团队[2]收集统计了原空军总医院2006年1月至2010年12月直升机飞行人员住院病历129例(240例次),包括航空性中耳炎和空中晕厥等航空疾病,涉及临床各个专科。按疾病发生例次和构成比归纳住院飞行人员疾病谱。其中颈腰椎病、头痛、高血压、胆囊息肉、地面晕厥位居前五位。按照飞行人员住院疾病学科分析:骨科、神经科、耳鼻咽喉科、心血管内科、肝胆外科居前五位。这些疾病的发生是影响飞行人员作业效能的主要因素。

1.2 飞行人员的特殊飞行航卫保障问题

陆航以军用直升机为主战装备,具有行动隐蔽、飞行高度灵活、作战地域广、机动性强等特点和优势[1]。但飞行人员执行任务时的效能会受到一些不利因素的制约,比如飞行环境、飞行疲劳、任务地自然环境情况、飞机性能以及飞行技术等。效能的下降势必会影响任务的完成程度,甚至会导致任务无法完成。随着陆航医学保障体系的持续完善,飞行技术和任务地自然情况(高原、沙漠戈壁、丛林、高寒、高温等)的制约可通过科学训练有效改善。但由于陆军飞行人员执行任务所处环境的特殊性,飞行人员的身心健康会受到多重因素影响[3],容易诱发多种疾病(表1)。其中,噪音(84~110 dB)[4]、振动(0.05~0.10 g)[5]等贯穿飞行全程,会对飞行人员的睡眠、听力等方面产生负面影响,进而影响飞行人员的警觉、认知、决策、学习等脑、体作业能力[6]。除飞行环境的制约之外,飞行本身带来的空间定向障碍或飞行错觉[5]、飞行疲劳[5]等问题也对飞行人员身心健康产生不利影响,这些问题的解决均需陆航医学从损伤机制、效能增强和综合防护层面着力解决。

表1 直升机飞行环境导致的相关疾病

飞行环境	导致疾病
低气压	胃肠胀气、气压性耳损伤、鼻窦炎等
缺氧	视力、听觉等神经系统和感觉功能障碍等
温度异常	食欲下降、体温变化等多方面问题
噪音	听力下降、情绪波动、记忆力减退等
振动	血栓形成、骨关节和肌肉疼痛等
加速度	视力障碍、意识丧失等偶发情况

2 陆军飞行人员作业效能提升方法

陆航医学通过体检鉴定、常见伤病预防与诊治、航空生理心理训练以及营养卫生保障等多方面维护飞行人员身心健康,确保其在人-机-环境-任务系统内维持较高水平的效能(图1)。

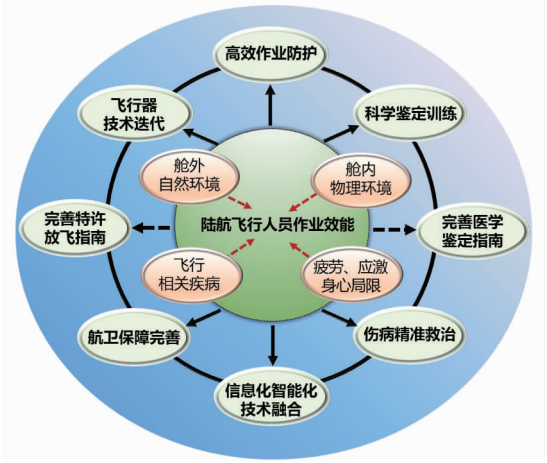


图 1 陆军飞行人员效能关键制约因素与提升路径[2-6]

2.1 陆军飞行人员医学选拔与体检鉴定

由于飞行环境的特殊性,飞行任务对飞行人员的身体素质有着较高的要求,需要制定相关的飞行人员医学选拔标准。体检鉴定包括两个方面:一是“招飞”选拔,将体检合格适合飞行的人员选拔进入飞行人员队伍,力求人岗适配、精准选拔;二是停飞鉴定,对飞行人员进行年度体检,对不合格者做停飞或者淘汰处理。通过这两方面的鉴定,确保飞行人员群体身心健康水平与飞行需求相适应,保持较高的效能。既往我国直升机飞行学员的医学选拔工作主要参考歼击机飞行学员的选拔标准,存在不足,比如歼击机要求飞行人员对加速度耐力较高,而直升机飞行由于升降较缓慢(通常<4 G),不需对加速度有很高的耐力[7]。在组建武装直升机(WZ-10)部队时,针对缺乏选拔直升机飞行员体格标准的核心问题,徐先荣教授团队[8-11]通过对直升机和歼击机飞行人员体检、住院和停飞三大疾病谱进行对比分析,验证了陆军飞行人员身心状况和对模拟飞行环境的反应。在此基础上制定出高性能武装直升机飞行员体格检查标准[12],揭示了直升机飞行员三大疾病谱之间的功能联系,完善了陆军飞行人员医学选拔与体检鉴定标准,以确保陆军飞行人员执行任务中能够保持较高水平的效能。同时,结合陆军飞行人员日常航卫保障特点,我军构建了较为完善的陆军飞行人员临床航卫保障技术体系。随着直升机性能的不断提升、环境暴露的多样性以及超视距作战训练的现实需求,未来陆军飞行人员的选拔与体检鉴定标准亟待动态更新。

2.2 陆军飞行人员常见伤病的预防及诊治

由于飞行人员长期佩戴头盔,头盔本身的重量会对颈椎施以负荷,同时飞机的低频振动对椎间盘造成持续冲击或共振,加之久坐易于导致飞行人员患颈椎病和腰椎病。对此,全军航空航天医学专业委员会制定了《军事飞行人员颈痛康复操作指南(2022)》[13]和《军事飞行人员腰椎间盘突出症医学鉴定操作指南(2022)》[14]。目前 WZ-10 的新一代头盔重约 3 kg[15],尤其需要在航空医学专家的指导下,进一步优化迭代适合人体工学的轻量化头盔,以降低陆军飞行人员椎间盘病变的发病率,从而提高飞行效能。此外,在直升机座椅的设计制造上,我国前期研究主要关注静强度、抗坠毁能力和抗弹击能力等参数,对舒适性研究投入不足[16],未来需要进一步结合人体工学(倾角、弧度、材质和人-椅适配性等)设计更加舒适且能够保护飞行人员腰椎的座椅,以提高陆军飞行人员飞行舒适度,更好地满足直升机长航时飞行需求,提升特殊环境下的高强度作战训练效能。

经过长距离飞行后,93%的飞行员感到疲劳,其中85%感到极度疲劳[17]。脑力和体力疲劳会导致飞行人员效能大幅下降。而且,直升机飞行时产生的噪音和振动等会影响飞行人员的睡眠和昼夜节律,加重飞行人员疲劳。在对医学原因相关的停飞调查发现,位居前 5 位的停飞原因均不同程度与疲劳或过度疲劳产生的后遗症有关[18-19]。既往轻度疲劳状态缓解方式包括:合理膳食、按大纲组训、生物反馈放松疗法、物理疗法和睡眠等;严重疲劳状态则需进行康复疗养,采用综合手段比如水浴、桑拿、文体娱乐等促进疲劳恢复。对有睡眠障碍的飞行人员,在杜绝带药飞行条件下仍推荐给予药物治疗,相关药物有司可巴比妥、三唑仑、唑吡坦、佐匹克隆及扎来普隆等短效助眠药,这类药物具有起效快、代谢迅速(半衰期 1~3 h)、觉醒后对认知和作业能力的不良反应相对较小等特点,运用于军事航空作业人员中取得了良好效果[20-22]。通过各种医学手段干预,使飞行人员的疲劳状态得到缓解,并改善睡眠质量。此外,美军目前正通过智能手环或戒指实现对军人睡眠的监测。美军国防部除开展常规睡眠管控药物研究外,还基于脑机接口技术开发出适用于单兵化、便携式的睡眠质量升装备[23]。此法可避免药物副作用的影响,更好地改善飞行人员睡眠情况,减轻其疲劳,提高效能。

听力正常是陆军飞行人员执行任务的必要条件。长期处于噪音超过 60 dB 的环境,会使听力受损,而直升机飞行过程中产生的噪音分贝值通常介于 84~110 dB[3],

某些机型甚至可以达到120~130 dB。长期处于直升机飞行环境中的飞行人员持续受到噪音的影响,易导致听力受损,因语音感知异常影响飞行效能[24]。由于听觉损伤发病隐匿,需要专业设备和专业人员进行检测,以致在作战、训练环境中难以被迅速识别,容易延误诊治。所以除日常健康监测外,需要快速便捷的诊断技术方法。目前,美军开发了一款可用于战场环境的移动式听力测试系统[25],即无线自动化听力测试系统(wireless automated hearing test system, WAHTS)。该装备突破了传统听力检测空间和技术的局限,可在无传统隔音间和专业测试人员情况下使用,确保在第一时间监测听力损失情况,提高诊治效率。实现战场环境下的实时监测,为听力损伤早发现、早诊断、早治疗提供了重要保证。将该装备用于陆军飞行人员听力监测和评估,将在很大程度上保障飞行人员效能。

既往动物实验阐明了耳气压伤、变压性眩晕以及鼻窦气压伤的发病机制[26-28],为飞行人员航空性中耳炎、航空性鼻窦炎、航空医学训练、医学鉴定及相关国家标准的制定提供了客观依据。此外,辐射也是陆航直升机飞行环境的危害因素之一。研究人员[29-31]揭示了电磁辐射环境对飞行人员心血管系统、神经系统、消化系统、生殖系统和血液免疫系统的影响,为更好地预防辐射危害提供了理论支撑。

2.3 陆军飞行人员特殊环境作业效能提升

通过开展特殊环境(高原、海上等)陆军飞行人员作业研究,发现与平原地区相比,在高原执行任务的飞行人员体力明显下降,随着高原驻留时间的延长,体力有所恢复,但依然低于平原水平。既往由缺氧或氧供不足导致的飞行事故征候并不鲜见。参照《航空卫生工作条例》和国军标(GJB114-1986),飞行人员空中作战尤其是夜航均为供氧绝对指征。美国陆军部2014年颁布的航空飞行条例AR 95-1规定,3 040 m以上超过1 h、3 650 m以上超过30 min或4 260 m以上飞行需要供氧,在特殊环境中识别缺氧并有效补氧对于保障陆军飞行人员作业效能至关重要,且在战时或高强度直升机作业中尤为重要。另一方面,有团队[32-33]开展了低氧预适应训练在陆军飞行人员高原驻训中的应用研究,证实低氧预适应对促进陆军飞行人员快速习服高原环境有积极作用。除高原低氧外,陆军飞行人员还常常需要在高温或高寒环境中执行任务,如何对抗温度负荷、保证体温恒定以保障效能也是陆航医学所关注的重点。杨昌林等[34]研究表明,炎热环境中飞行人员汗氨排出量以及水溶性维生素消耗量增加,所以,在高温环境中执行飞行任务之前需要补充足量维生素和蛋白质,以满足机体额外消耗量。此外,通过开展相关卫生教育,指导飞行人员在极端温度下处理身体不适,对于飞行效能维护不可或缺。

2.4 陆军飞行人员航空生理-心理训练

良好的生理-心理状态对飞行人员操控飞机、提高效能至关重要。随着直升机性能拓展,陆军飞行人员执行任务渐趋复杂多样,某些任务甚至要求飞行人员身体接近或达到生理极限。此时,尤其需要在航医等专业指导下,对飞行人员进行航空生理-心理医学训练,以提高飞行人员的生理-心理耐受的极限值。既往经验表明,经过严格的医学-心理学选拔以及长期职业心理和技能训练的飞行人员心理健康状况优于一般人群。但是,由于飞行职业的高风险性、高难度特点,飞行人员面临难以跳伞逃生的情况,以及飞行人员对不同机型、供货厂家的安全性偏好等心理和生理反应,飞行人员在飞行中容易受到各种应激的影响,较普通军人承受更大的身心压力,所以飞行人员的心理和精神健康状态评估对飞行安全尤为重要。

针对飞行人员的心理健康,陆航医学保障提供了科学系统的训练方法。主要包括[2]:心理能量控制、渐进放松法、表象技能训练法、注意技能训练方法和记忆训练法等。目前,除上述常规干预方法之外,一些机构正在将虚拟现实技术应用于飞行人员的心理训练研究[35],比如硬件采用虚拟现实(virtual reality, VR)头盔投射虚拟世界的模拟画面,使用智能手环采集飞行学员心率、血压等生理指标,同时使用麦克风采集飞行学员有意、无意发出的声音,达到心理评估与针对性治疗的目的。该项技术能够在模拟飞行状态下采集飞行人员心理健康相关数据,并同时给予干预治疗。与传统问卷调查采集心理健康指标相比,此项数据采集技术更加客观真实,能够帮助心理专家全面掌握飞行人员心理健康状况。同时该技术能够实现在不同模拟环境中的干预性治疗。目前该项技术正在研发当中,未来有望实现心理健康检测和治疗多元化,更加全面系统地帮助飞行人员解决心理问题,提高飞行效能。

2.5 陆军飞行人员营养卫生保障

陆军飞行人员训练强度大,执行的任务较复杂多样,除日常饮食摄入[36]外,既往由航医指导飞行人员服用维生素[37-38],有飞行任务时推荐加量服用。对于特殊飞行环境作业,高原多维元素等特定组分营养保

健措施具有更好的针对性。针对特殊飞行环境和超负荷作训任务,非药物性或药食同源性保健品的遴选、使用和效用评价尚有较大拓展空间。此外,航医在飞行人员训练过程中及时提醒指挥员控制飞行强度,合理安排休息,防止出现疲劳飞行,以保障飞行人员身体健康,进而保持较高水平效能。

3 展望

陆军飞行人员保持高水平效能是完成飞行任务的关键环节,效能的维持与飞行人员身心健康休戚相关。陆航医学卫生保障作为维护飞行人员身心健康的主要路径,贯穿于飞行人员从招飞到停飞的整个飞行生涯,有助于防范飞行事故或事故征候,确保飞行人员保持较高水平的效能。当前,陆军航空医学主要从体检鉴定、疾病防治以及营养保障等方面维护飞行人员身心健康。在提升陆军飞行人员效能方面,围绕空中适应能力、飞行技能获得能力、应激控制能力、注意力与疲劳监测干预等方面,需要关注以下几个研究方向:第一,制定科学的训练标准,提高飞行人员生理-心理耐受力,提升极限飞行下的效能;第二,加强药物和保健品对飞行人员航空环境安全性评价研究;第三,参与飞行人员日常训练,进行科学指导;第四,围绕人-机-环境-任务闭环进一步完善陆军飞行人员特许飞行指南;第五,加强陆航医学专用仪器设备在伤病诊治以及医学鉴定中的作用研究,进一步提高陆航医学鉴定水平;此外,还须加强飞行人员的健康管理、减少职业损伤,开展包括生理机能、心理品质、营养卫生等研究。做好陆军飞行人员的全链条健康维护,最大限度地提升其效能。

参考文献:

[1] 段本相, 季栋华. 陆军航空兵在一体化联合作战中的运用[J]. 国防科技, 2015, 36(4): 124-128. DOI: 10.13943/j.issn1671-4547.2015.04.27.
DUAN B X, JI D H. Application of army aviation corps in integrated joint operations[J]. Natl Def Sci Technol, 2015, 36(4): 124-128. DOI: 10.13943/j.issn1671-4547.2015.04.27.

[2] 徐先荣, 肖海峰, 翟丽红, 等. 直升机飞行人员住院疾病谱分析[J]. 军医进修学院学报, 2011, 32(9): 896-897, 913.
XU X R, XIAO H F, ZHAI L H, *et al*. Disease spectrum in hospitalized helicopter aircrews[J]. J Chin PLA Postg Med Sch, 2011, 32(9): 896-897, 913.

[3] 严军, 余静, 刘可, 等. 陆军航空医学研究现状和展望[J]. 创伤外科杂志, 2022, 24(6): 412-415. DOI: 10.3969/j.issn.1009-4237.2022.06.003.
YAN J, YU J, LIU K, *et al*. Research status and enlightenment of army aviation medicine[J]. J Trauma Surg, 2022, 24(6): 412-415. DOI: 10.3969/j.issn.1009-4237.2022.06.003.

[4] 刘玉辉, 姜一弘, 张卓儒, 等. 军事航空噪音性隐匿性听力损失动物模型的建立与评价[J]. 中华耳科学杂志, 2022, 20(4): 620-625. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2922.2022.04.015.
LIU Y H, JIANG Y H, ZHANG Z R, *et al*. Establishment and evaluation of an animal model of military aviation noise induced-hidden hearing loss[J]. Chin J Otol, 2022, 20(4): 620-625. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2922.2022.04.015.

[5] 邓景辉. 直升机技术发展与展望[J]. 航空科学技术, 2021, 32(1): 10-16. DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2021.01.002.
DENG J H. Development and prospect of helicopter technology[J]. Aeronaut Sci Technol, 2021, 32(1): 10-16. DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2021.01.002.

[6] 李哲, 王静怡, 周正伊, 等. 2021年度美军军事作业医学研究进展[J]. 军事医学, 2022, 46(1): 1-6. DOI: 10.7644/j.issn.1674-9960.2022.01.001.
LI Z, WANG J Y, ZHOU Z Y, *et al*. 2021 annual review of U.S. Armed Forces military operational medicine research[J]. Mil Med Sci, 2022, 46(1): 1-6. DOI: 10.7644/j.issn.1674-9960.2022.01.001.

[7] 王广云, 翟丽红, 于东睿, 等. 改装体检直升机和歼击机飞行员加速度耐力比较研究[J]. 空军医学杂志, 2020, 36(1): 1-3. DOI: 10.3969/j.issn.2095-3402.2020.01.001.
WANG G Y, ZHAI L H, YU D R, *et al*. A comparative study of acceleration tolerance between helicopter pilots and fighter pilots under physical examination prior to transferring to higher performance aircraft[J]. Med J Air Force ,2020, 36(1): 1-3. DOI: 10.3969/j.issn.2095-3402.2020.01.001.

[8] 蒋晓璇, 张玲, 徐先荣. 直升机和歼击机飞行员年度体检病症谱分析[J]. 解放军医学院学报, 2015, 36(1): 33-35. DOI: 10.3969/j.issn.2095-5227.2015.01.011.
JIANG X X, ZHANG L, XU X R. Analysis of helicopter and fighter pilots' disease spectrum in annual checkup[J]. Acad J Chin PLA Med Sch, 2015, 36(1): 33-35. DOI: 10.3969/j.issn.2095-5227.2015.01.011.

[9] 徐先荣. 对飞行人员体格检查的再认识[J]. 解放军医学院学报, 2020, 41(1): 1-4. DOI: 10.3969/j.issn.2095-5227.2020.01.001.
XU X R. Reconsidering the physical examination to air force pilot[J]. Acad J Chin PLA Med Sch, 2020, 41(1): 1-4. DOI: 10.3969/j.issn.2095-5227.2020.01.001.

[10] 徐先荣, 肖海鹏, 翟丽红, 等. 直升机飞行人员停飞疾病谱分析[J]. 军医进修学院学报, 2012(12): 1227-1229.
XU X R, XIAO H P, ZHAI L H, *et al*. Disease spectra of grounded helicopter aircrews[J]. J Chin PLA Postgrad Med Sch, 2012(12): 1227-1229.

[11] 崔丽, 徐先荣, 郑军, 等. 军事飞行人员医学停飞疾病谱10年回顾分析[J]. 空军医学杂志, 2021, 37(3): 194-198. DOI: 10.3969/j.issn.2095-3402.2021.03.003.
CUI L, XU X R, ZHENG J, *et al*. Disease spectrum of permanent grounding in military aircrews: a 10-year review [J]. Med J Air Force, 2021, 37(3): 194-198. DOI: 10.3969/j.issn.2095-3402.2021.03.003.

[12] 徐先荣,熊巍,肖海峰,等. GJB 8575—2016 飞行人员体格要求及检查方法:高性能武装直升机飞行员[S]. 北京: 中央军委后勤保障部,2016.
XU X R, XIONG W, XIAO H F, *et al*. GJB 8575—2016 Flight personnel physical requirements and inspection methods: High performance helicopter gunship pilots[S]. Beijing: Logistics Support Department of the Central Military Commission, 2016.

[13] 叶超群,殷毅. 军事飞行人员颈痛康复操作指南(2022)[J]. 空军航空医学,2022,39(3):26-30.
YE C Q, YIN Y, *et al*. Guidelines for rehabilitation of neck pain in military flight personnel(2022)[J]. Aviat Med Air Force, 2022, 39(3): 26-30.

[14] 卫杰, 郑超, 等. 军事飞行人员腰椎间盘突出症医学鉴定操作指南(2022)[J]. 空军军医大学学报, 2022(5): 546-549.
WEI J, ZHENG C, *et al*. Guidelines for medical evaluation of lumbar disc herniation in military pilots(2022)[J]. J Air Force Med Univ, 2022(5): 546-549.

[15] 米尔观天下. 传说中的用眼神杀人! 直10是怎么做到的? 全靠这一顶头盔![EB/OL]. (2019-11-04)[2023-12-06]. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1649253480814914771&wfr=spider&for=pc,2019.
Mill View the World. The legend of killing with eyes! How does straight 10 do it? It's all because of this helmet![EB/OL]. (2019-11-04)[2023-12-06]. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1649253480814914771&wfr=spider&for=pc, 2019.

[16] 成德, 王欣宇, 刘舒宁, 等. 直升机驾驶员座椅舒适性指标量化研究[J]. 直升机技术, 2021(4): 32-37, 42. DOI: 10.3969/j.issn.1673-1220.2021.04.006.
CHENG D, WANG X Y, LIU S N, *et al*. Quantitative research on helicopter pilot seat comfort index [J]. Helicopter Tech, 2021(4): 32-37, 42. DOI: 10.3969/j.issn.1673-1220.2021.04.006.

[17] 邹琳. 民航飞行员飞行疲劳体征的 判别与安全对策综述[J]. 才智, 2011(19): 325-327. DOI: 10.3321/j.issn: 1000-2790.2008.04.027.
ZOU L. Identification of flight fatigue signs of civil aviation pilots and summary of safety countermeasures [J]. Intelligence, 2011(19): 325-327. DOI: 10.3321/j.issn: 1000-2790.2008.04.027.

[18] 王星, 王军, 郑军, 等. 2015—2020年飞行人员医学停飞疾病谱分析[J]. 空军医学杂志, 2021, 37(5): 397-399, 417. DOI: 10.3969/j.issn.2095-3402.2021.05.008.
WANG X, WANG J, ZHENG J, *et al*. Disease spectrum of military aircrews from 2015 to 2020[J]. Med J Air Force, 2021, 37(5): 397-399, 417. DOI: 10.3969/j.issn.2095-3402.2021.05.008.

[19] 谢孟真. 基于飞行疲劳角度探究军用直升机飞行员飞行安全策略[J]. 决策探索(中), 2019, (9): 11-12.
XIE M Z. Flight safety strategy of military helicopter pilots based on flight fatigue[J]. Policy Res Explor, 2019, (9): 11-12.

[20] CHEN L E, ZHAO A D, ZHANG Q J, *et al*. Investigation of the usefulness of zaleplon at two doses to induce afternoon-sleep under noise interference and its effects on psychomotor performance and vestibular function[J]. Mil Med Res, 2016, 3: 5. DOI: 10.1186/s40779-016-0075-4.

[21] 邢雷, 邢航, 钟震宇. 短效催眠药在航卫保障中应用研究[J]. 中国现代药物应用, 2014, 8(3): 154-155. DOI: 10.16781/j.0258-879x.2020.09.1012.
XING L, XING H, ZHONG Z Y. Study on the application of short-acting hypnotics in aviation health support[J]. Chin J Mod Drug Appl, 2014, 8(3): 154-155. DOI: 10.16781/j.0258-879x.2020.09.1012.

[22] WINGELAAR-JAGT Y Q, WINGELAAR T T, RIEDEL W J, *et al*. Fatigue in aviation: safety risks, preventive strategies and pharmacological interventions[J]. Front Physiol, 2021, 12: 712628. DOI: 10.3389/fphys.2021.712628.

[23] SABALLA J. US Army to develop cap that can improve soldiers' sleep. The Defence Post.[EB/OL]. (2021-10-

13)[2022-10-20]. https://www.thedefensepost.com/2021/10/13/us-army-cap-soldiers-sleep/.

[24] 李哲,于楠,付波,等.外军卫勤系列研究(138)2019-2020年美军军事作业医学研究进展[J].人民军医,2021,64(2):154-159.
LI Z, YU N, FU B, *et al*. A series of studies on foreign military medical service (138) progress in medical research on military operations in the U.S. Military in 2019-2020 [J]. People's Military Surgeon, 2021, 64(2): 154-159.

[25] SCHULZ T. Mobile hearing test system enables quicker diagnosis,treatment[EB/OL].(2021-07-08)[2022-07-20]. https://www.myairforcebenefits.us.af.mil/News/Mobile-hearing-test-system-enables-quicker-diagnosis-treatment.

[26] WANG B R, XU X R, LIN J H, *et al*. Dynamic rabbit model of ear barotrauma[J]. Aerosp Med Hum Perform, 2019, 90(8): 696-702. DOI: 10.3357/AMHP.5167.2019.

[27] XU X R, WANG B R, JIN Z G, *et al*. A dynamic rabbit model of sinus barotrauma and its related pathology[J]. Aerosp Med Hum Perform, 2016, 87(6): 521-527. DOI: 10.3357/AMHP.4417.2016.

[28] BARAL B, REGMI D, DAWADI A, *et al*. Middle ear barotrauma among licensed Para-pilots of a metropolitan city: a descriptive cross-sectional study[J]. JNMA J Nepal Med Assoc,

[29] 晏雪婷.飞行环境中微波辐射对机体免疫功能影响的研究[D].大连:大连医科大学,2016.
YAN X T. Study on the influence of microwave radiation on immune function in flight environment[D]. Dalian: Dalian Medical University, 2016.

[30] ERCAN E. Effects of aerospace environments on the cardiovascular system[J]. Anatol J Cardiol, 2021, 25(Suppl 1): 3-6. DOI: 10.5152/AnatolJCardiol.2021.S103.

[31] MCNEELY E, MORDUKHOVICH I, TIDEMAN S, *et al*. Estimating the health consequences of flight attendant work: comparing flight attendant health to the general population in a cross-sectional study[J]. BMC Public Health, 2018, 18(1): 346. DOI: 10.1186/s12889-018-5221-3.

[32] 潘建,肖海峰,刘福玉,等.低氧预适应训练在陆航飞行员高原驻训中的应用研究[J].西南国防医药,2013,23(3):307-309. DOI:10.3969/j.issn.1004-0188.2013.03.032.
PAN J, XIAO H F, LIU F Y, *et al*. Research on application of hypoxic preconditioning training to army aviation pilots' field training at high altitude[J]. Med J Natl Defending Forces Southwest China, 2013, 23(3): 307-309. DOI: 10.3969/j.issn.1004-0188.2013.03.032.

[33] GIRARD O, BROCHERIE F, GOODS P S R, *et al*. An updated panorama of "living low-training high" altitude/hypoxic methods[J]. Front Sports Act Living, 2020, 2: 26. DOI: 10.3389/fspor.2020.00026.

[34] 杨昌林,余红,伊长荣,等.炎热气候对飞行人员营养素需要量的研究[J].吉林医药学院学报,1997,18(3):154-156.
YANG C L, YU H, YI C R, *et al*. Study on nutrient requirements of flight personnel in hot climate [J]. J Jilin Med Univ, 1997, 18(3): 154-156.

[35] 文豪,张志勇,吕聪聪,等.基于虚拟现实技术的飞行学员心理训练环境构建研究[C].第十届中国指挥控制大会,中国北京,2022.
WEN H,ZHANG Z Y,LYU C C, *et al*. Research on the construction of psychological training environment for flight cadets based on virtual reality technology[C]. 10th China Command and Control Conference, Beijing, China, 2022.

[36] SAMMITO S, ERLEY O M, ROSE D M, *et al*. The prevalence of dietary supplement usage in military aviators [J]. Int J Environ Res Public Health, 2022, 19(9): 5017. DOI: 10.3390/ijerph19095017.

[37] 张建国.直升机飞行的航空医学问题及航空卫生保障[J].航空军医,2000,28(6):246-248.
ZHANG J G. Aviation medical problems and aviation health guarantee of helicopter flight [J]. Flight Surg, 2000, 28(6): 246-248.

[38] 詹皓,袁海龙.航空药理研究的回顾与展望[J].空军医学杂志,2022,38(1):33-37. DOI:10.3969/j.issn.2095-3402.2022.01.009.
ZHAN H, YUAN H L. The present and future of pharmacological research in aviation medicine[J]. Med J Air Force, 2022, 38(1): 33-37. DOI: 10.3969/j.issn.2095-3402.2022.01.009.

(**收稿**:2023-08-01;**修回**:2023-08-24)

(编辑 栾 嘉)