

# 舰载飞行振动环境对飞行员身体状态影响与应对策略研究

吴海平 王超 徐阳阳

海军航空大学, 山东 烟台 264000

[摘要] 通过查阅资料, 分析舰载振动环境产生的原因和类型, 剖析振动环境对飞行员身体机能的影响, 结合运动生理学、运动训练学和运动生物力学等学科, 研究舰载飞行员身体训练对策, 帮助飞行员提高身体训练认识, 增强训练效果, 提升战斗力。

[关键词] 舰载振动环境; 飞行员; 身体影响; 策略研究

DOI: 10.33142/jscs.v4i3.13216

中图分类号: R83

文献标识码: A

## Research on the Influence and Response Strategies of Vibration Environment in Shipborne Flight on Pilots' Physical Status

WU Haiping, WANG Chao, XU Yangyang

Naval Aviation University, Yantai, Shandong, 264000, China

**Abstract:** By reviewing relevant materials, this study analyzes the causes and types of ship borne vibration environments, examines the impact of vibration environments on pilots' physical functions, and combines disciplines such as sports physiology, sports training, and sports biomechanics to research strategies for ship borne pilots' physical training, so as to help pilots improve their understanding of physical training, enhance training effectiveness, and improve combat effectiveness.

**Keywords:** shipborne vibration environment; pilots; physical impact; operational research

### 引言

动态环境下的海、空运载工具(舰艇、飞机)工作时, 都会产生一定程度的机械振动, 飞行员通过直接和间接接触将承受被动振动。在飞行员被动承受振动过程中, 飞行员身体的感知系统、心血管系统、神经消化系统和运动系统都会受到不同程度的影响, 从而产生不良身体反应和应激激励。在现有的研究中, 很多行业的人员都会因工作振动环境受到不同程度的影响, 如各交通工具的驾驶员, 但是飞行员受振动影响最为严重, 尤其是海军舰载战斗机飞行员, 其晕动病和脊柱疾病发病率与其他飞行员相比为最高。是影响舰载战斗机飞行员战斗力生成的重要原因之一。

### 1 舰载振动环境原因以及类型

舰载振动环境的原因多种多样, 发动机工作时的振动, 螺旋桨及旋转部件, 航行和飞行过程中气候、气流, 洋流均能产生影响。同时, 舰载振动的产生还受飞行过程中速度、加速度和重力变量的影响。所有的振动当中, 机械振动最难以克服, 它会随着任务开始到结束, 是飞行员职业影响最大不利因素, 也是造成飞行员身体损伤和疾病的重要原因之一。

#### 1.1 舰载振动环境原因分析

舰载飞行振动来源分为内部原因和外部原因。内部原因主要机械工作中的物理振动。一般振动源是往复式活动装置, 旋转装置的扭曲振动; 发动机齿轮、叶片和地板等平移、轴向或刚体运动; 往复式活动装置、马达、振动基座点间歇振动; 电机中轴、弹簧、机械皮带、导管等挠曲型或平板型振动。撞击地板、墙壁、壳体和继电器随机的混杂的振动; 空气动力扰动、管道和导管中相互作用的气

流和液流振动<sup>[1]</sup>。外部原因受环境和战场变换影响, 与位移、频率、速度、加速度等因素有很强的关联性。

#### 1.2 舰载振动类型

舰载飞机振动类型分为四类, 一是飞机平飞或者姿态变化时, 由于飞机本身刚度和弹性作用, 周期性反复运动造成的机械振动, 如振动频率和次数恒定称为谐振, 变化时称为随机振动; 二是飞机由于空气动力的激励所致, 引起的振动为抖动, 抖动是随机的, 是因为机体表面气流分离所致, 飞行过程中扰流板放出, 飞越湍流区域时都会产生抖动; 三是飞机因为不稳定的气流激励作用, 通常伴随飞机结构的刚度不够而造成颤振<sup>[2]</sup>。四是噪音振动, 飞行时气流受阻所致, 经常性地能听到一些异响, 且此类噪音振动是随机发生, 不容易引起飞行员的注意。舰艇振动以机械振动为主。航行中受气候和环境影响较大, 产生不同种类的摆荡, 如横摇、横荡、纵摇、纵荡和纵荡, 以及混合摆荡等。因摆荡频率小和振动有一定区别, 不能称为振动, 但是对人体影响同样不能忽视, 特别是前庭器官的刺激比较强烈。

### 2 影响舰载振动环境的相关因素

#### 2.1 振动频率

舰载飞行振动对飞行员机体的影响中, 振动频率起主要作用。不同频率的振动造成的感受是不同的, 当频率超越身体承受阈值时, 引起的病变特征也存在差异。人体感知振动频率的区间大约是 1~1000Hz, 对于环境振动对机体的影响关注的重点是机体反应敏感的 1~80Hz 的频率区间, 主要是机体各种组织的共振频率集中在这个区间(见表 1)。机体站立时, 4~8Hz 的振动频率最为敏感,

机体平躺和俯卧时, 1~2Hz 的振动频率最为敏感<sup>[3]</sup>。当身体各部分器官固有频率和外界传来的振动频率一致和相同时, 就会引起局部共振, 此时对机体危害最大。

表 1 人体各部位激励振动影响表

头部	眼球	30~80Hz	躯干	肩部	4Hz
	头颅骨	300~400Hz		心脏	60Hz
	牙床	100~260Hz		胃部	4~8Hz
上肢	上肢骨	16~30Hz	下肢	髌骨	10~20Hz
	手掌	50~200Hz		膝关节	20Hz

## 2.2 振动强度

当机体承受一定频率的振动时, 振动的强度越大对机体机能影响越大, 振动强度通常用位移, 速度, 加速度来表示, 因环境振动位移值太小, 不易检测固不采用。人体对振动的感受与速度和加速度有更强的关联, 因此振动环境强度用速度和加速度来分析<sup>[4]</sup>。舰载战斗机性能提升大, 引起的速度和加速度变化值大, 因此飞行员承受的振动强度值也会增大。

## 2.3 暴露时间

暴露时间指当振动频率和幅度一定时, 振动作用于机体的时间。振动的时间特性分为稳态、间歇和冲击振动。稳态振动的强度是不随时间变化的, 是稳定、持续的, 如在飞行过程中被动接受的飞机的振动就属于稳态振动, 是伴随整个飞行过程的。间歇振动是指有时有时无的振动, 间歇性发生的, 如特技飞行俯冲跃升时造成的振动, 战斗飞行时的战术动作等都属间歇振动。冲击力较大称为冲击振动, 如舰载战斗机起飞与着舰时产生的振动, 冲击振动的时间很短, 但振幅很大, 对机体的瞬时影响也最大。人体无论受到何种振动作用, 时间越长, 对机体的伤害也越大<sup>[5]</sup>。

## 2.4 接触方式

人体振动效应, 是以心脏为原点的直角坐标系。人体的背-胸轴为 X 轴, 右侧-左侧为 Y 轴, 脚-头为 Z 轴。人体对振动的敏感程度和接触方式有很大的关系。如飞行员坐于驾驶舱, 躯干振动方向在 Z 轴, 通过操控驾驶杆、油门手掌振动方向在 X 与 Y 轴, 脚蹬舵操控飞机时施加力的大小和方向都会引起不同轴的振动。

## 2.5 其他

人体自身的体质条件和外环境的影响, 包括身体形态、肌肉占比, 年龄大小, 身体机能状态, 训练适应情况、对寒冷和振动的敏感程度等相关因素。

## 3 振动环境对飞行员身体影响分析

振动对人体有利有弊。在现代康复训练中, 利用振动原理, 能快速缓解疲劳, 增强关节灵活性, 提高恢复速度, 有效疏通经络、刺激体表反射区, 提高代谢, 预防疾病。同时, 还能提高神经肌肉的敏感性, 增强肌肉输出效率。振动对于人体作用很广泛, 但是振动给人体的影响更为剧烈。振动能引起飞行员前庭器官、内分泌系统, 循环系统、消化系统、植物神经系统和运动系统等一系列变化, 并使人体产生

疲劳、身体机能快速衰退。同时, 由于人体不同部位和系统有各自的频率, 所以当人体承受的振动频率接近或等于某一部位的固有频率时, 就会产生共振。共振将加速飞行员生理效应, 如器官发生共振, 则生理反应将会更加强烈。

### 3.1 神经系统

研究表明, 人体暴露于振动环境时, 影响最早是神经系统, 神经系统最敏感的是感觉器官, 感觉器官通过人体的许多感受器接收外刺激信号, 如表皮组织中的末梢神经、细胞组织的环层小体、肌肉中的肌梭和高尔基腱梭, 以及前庭器官等。人体对振动的感受有一个振幅和频率的范围, 当振幅和频率在这个范围时, 人体才能感觉得到振动。振动频率低于 10Hz 时人体最敏感的器官是前庭器官, 前庭器官是协调运动、维持人体平衡的内耳神经系统<sup>[6]</sup>。当振动达到一定强度和一段时间后, 人体会出现头痛、头晕、疲劳、嗜睡、出汗、失眠记忆力减退等神经衰弱症<sup>[7]</sup>。

### 3.2 心血管及循环系统

飞行员驾驶操控飞机, 会直接接触振动环境, 振动作用于人体后, 对心血管及循环系统产生较大影响。对战斗机飞行员常见疾病调查显示, 飞行员心血管疾病和循环问题明显增高。有研究表明, 振动引起循环系统疾病有两类。一是振动频率约为 20Hz 的振动引发的疾病, 其疾病发生与接触部位有关, 振动造成接触部位, 以及周围毛细血管形态和张力的改变, 引起血管痉挛和变形, 从而使接触部位及周围的血管受损, 致使血流量减小, 脉管变硬。二是缺血性心脏病和高血压的发生, 这一类疾病主要是振动引起的精神紧张, 导致身体消耗过大, 40Hz 以上的振动会造成窦性心律不齐, 房室与右束支传导阻滞<sup>[8]</sup>。

### 3.3 胃肠消耗系统

一定强度的振动会引起机体的胃肠蠕动加快。长期剧烈振动会引起人体腹腔内部胃下垂、胃液分泌和消化能力下降。研究表明, 当人体接触频率高于 20Hz 的振动时, 是胃部疾病高发的原因之一, 但不是最重要的原因。飞行员因长期处于振动环境, 其消化系统疾病高于普通人, 表明振动环境在持续影响飞行员身体健康。据研究显示, 飞行员慢性胃炎发病率占研究人数的 5.92%, 发病率高, 且趋于年轻化。

### 3.4 骨骼肌肉系统

振动环境对骨骼系统损伤较大, 容易引起骨连接稳定性下降, 严重者引起关节错位, 如腰椎间盘突出、颈椎病和胸椎紊乱等。有资料显示, 在振动环境的各类疾病中, 脊柱疾病患者占首位, 脊柱疾病损伤又以腰椎损伤最为严重, 同时引起周围神经系统病变, 如坐骨神经痛的许多患者均是因为脊柱继发性损害。对 84 名海军飞行员调查, 发现中颈椎和腰椎发生病变的比例分别为 34.52% 和 39.29%, 腰椎和颈椎同时发现病变的高达 20.23%, 且接触振动时间越长, 发生病变的比例越高。

振动环境对肌肉系统的影响有利有弊, 如振动恢复训练, 利用局部高频振动, 会加快放松肌组织, 提高肌肉兴奋性, 改善肌肉平衡和协调性。但是振动超过一定时限后,

将会引起肌疲劳、肌无力,飞行员在驾驶过程中,手臂和腿部肌肉处于紧张状态,躯干接触性随着激振频率一起运动,以克服振动引起的位移,平衡自身,机电能量消耗比正常状态高得多,因而必然引起全身性肌肉疲劳及局部肌肉损伤。随着驾驶操控时间的推移,机体长期遭受振动环境的影响,必然会引起肌疼痛,肌萎缩,以及肌电图异常改变等。

#### 4 针对振动环境飞行员身体训练对策研究

##### 4.1 注重力量训练,提高身体肌肉比

振动环境对于身体的影响是多方面的,飞行员坐于驾驶舱,可以判定为接触性强烈的全身振动,可能导致内脏器官损伤和移位,如何降低此类影响,训练中可以通过小强度和中等强度力量进行增肌训练,提高身体肌肉百分含量,加强身体各器官和骨骼的包裹性和稳定性,降低器官振动损伤和移位风险。飞行员抗荷力量训练一般采用中等强度力量,只是训练内容的内容更有针对性,而针对振动影响的力量训练内容必须多样、全面。

##### 4.2 力量训练要经常,提高肌肉质量

力量训练需要保持经常,通过逐渐增加负荷的方式,可以增强肌肉力量和耐力,提高身体的功能和运动能力。“用进废退”力量训练法则,如果停止训练周期过长,肌肉会退化,力量会下降,同时随着时间的延长,肌肉会在振动环境持续影响下,变得松软、无力。肌肉质量会快速下降,同时会加速向脂肪的转化。因此,飞行员必须养成良好的训练习惯,结合训练任务,每周安排3次左右的力量训练,以便巩固前期的训练效果,弥补飞行训练过程中力量的亏损和消耗,保持良好的身体机能状态。

##### 4.3 加强心肺机能,提高肌肉耐力

当飞行员身体处于振动环境时,身体各器官因为适应新的振动环境和达到新的动态平衡,各器官会加速调节,持续消耗,此时身体能量消耗比平时会高,需要通过调节呼吸,提高身体能量输出,以便延长机体工作时间和延缓机能下降。同时经常性进行一定强度的有氧呼吸训练,有助于膈肌的增强,膈肌作为胸腔和腹腔的分界线,能更好保护各腔室器官的稳定。因此,飞行员身体训练必须安排一定的心肺训练,内容可以安排有氧耐力跑、游泳训练,缺氧训练和结合呼吸训练的运动。内容选择要广泛,避免单一运动长期练习,引发训练伤病。

##### 4.4 强化躯干核心,预防脊柱伤病

通过调研了解,飞行员因工作性质和振动环境影响,其训练内容、方法针对性不足,导致脊柱疾病发病率高,核心区域肌群力量退化严重,特别是颈、腰部疾病。因此为提升战斗力,保障飞行员职业生涯安全健康,应经常性加强核心力量训练。训练内容要多样、全面,训练强度适中。在预防脊柱损伤恢复过程中,要加强核心躯干螺旋力量训练,在增强核心区域的稳定性和协调性,以及保护脊柱的同时,提高脊柱的稳定性和能量的传导。

##### 4.5 间歇性振动训练,提高身体适应性

因航空环境和海洋环境的多变性,振动环境是不断变换,

对于飞行员的刺激也会出现变化,因此为了降低飞行员对于环境生理影响,可以经常间歇性安排一定强度振动适应训练,提高前庭和内脏器官不同频率和振幅的适应性。训练频率选定和时间要在安全范围之内,杜绝暴露时间过长引起不适。

#### 5 结论

随着舰载航空设备的更新和实战化训练的要求,舰载飞行员与振动环境的接触时间将会延长,受到的影响也更大,造成的职业病和损伤也更明显,已成为医学与体育训练关注的焦点和亟须解决的问题。对于舰载振动环境,首先需要从振源本身和设备加以控制,其次应采取积极防护措施,减少环境振动对人体的影响,特别是要通过针对性的训练措施,克服晕动病,降低脊柱损伤和其他生理心理影响。提高飞行员健康的同时,促进战斗力进一步提高。

#### [参考文献]

- [1]宋丽敏,李颂,任佳阅,等.关于飞行器振动仿真模拟的分析[J].中国新技术新产品,2009(14):16.
  - [2]学术网文,民用飞机机体振[EB/OL](2022/01-01)  
<http://www.360doc.com/content/19/12/18/08/65060099-880485412.shtml>.
  - [3]张向东,高捷,闫维明.环境振动对人体健康的影响[J].环境与健康杂志,2008(1):74-76.
  - [4]刘娟,潘玮,杜健,等.全身振动对人体身心健康影响的研究进展[A].2016年全国声学设计与演艺建筑工程学术会议论文集[C].北京:北京国建信文化发展中心,2016.
  - [5]董霜,朱元清.环境振动对人体的影响[J].噪声与振动控制,2004(3):22-25.
  - [6]吴多大.基于高层结构反应的破坏性地震影响范围研究[D].哈尔滨:中国地震局工程力学研究所,2009.
  - [7]张辰辰.高架轨道交通引起的环境振动对人体舒适度的影响研究[D].南京:东南大学,2010.
  - [8]赵健业.中国人人体全身振动感知阈值的研究[D].北京:中国铁道科学研究院,2017.
  - [9]刘国强,董明明,秦浩.直升机振动和噪声联合环境对人体的影响[J].航空科学技术,2016,27(11):30-33.
  - [10]杨世超.人体对振动的感受与评价[J].科技通报,1985(6):43-45.
  - [11]赵勤.面向人体振动响应和腰椎载荷的人体生物力学建模[D].重庆:重庆大学,2020.
  - [12]兀光波,徐小青,考希宾,等.装甲车辆舱室振动环境现状及其对乘员作业工效的影响[J].人类工效学,2015,21(1):84-86.
- 作者简介:吴海平(1982—),男,汉族,安徽望江,硕士研究生,讲师,海军航空大学,研究方向:航空体育教学与训练;徐阳阳(1991—),男,汉族,山东邹城,硕士研究生,讲师,海军航空大学,研究方向:航空体育教学与训练;王超(1993—),男,汉族,山东聊城人,硕士研究生,助教,海军航空大学,研究方向:航空体育教学与训练。