

舰载战斗机飞行员颈部挥鞭伤原因分析与训练对策研究

吴海平 王超 席涛

海军航空大学, 山东 烟台 264000

[摘要] 通过研究舰载战斗机起飞、着舰过程, 分析飞行员颈部运动力学变化值和颈部挥鞭伤产生的内外因素, 结合运动解剖学、运动生理学和运动训练学等, 研究飞行员颈部挥鞭伤恢复、增强训练措施, 帮助飞行员提升起飞、着舰时的颈部功能和对抗能力, 预防飞行员颈部伤病, 促进飞行员身体健康, 进一步提高飞行员实战水平。

[关键词] 舰载战斗机飞行员; 挥鞭伤; 原因分析; 训练对策

DOI: 10.33142/jscs.v4i6.14826

中图分类号: R6

文献标识码: A

Analysis of Causes and Training Strategies for Neck Whiplash Injury in Shipborne Fighter Pilots

WU Haiping, WANG Chao, XI Tao

Naval Aviation University, Yantai, Shandong, 264000, China

Abstract: By studying the takeoff and landing process of carrier based fighter jets, analyzing the changes in flight and neck motion mechanics, as well as the internal and external factors causing neck whip injuries, and combining sports anatomy, sports physiology, and sports training, this study aims to investigate the recovery and training measures for pilots with neck whip injuries, helping them improve their neck function and combat ability during takeoff and landing, prevent neck injuries, promote their physical health, and further enhance their practical skills.

Keywords: carrier based fighter pilot; whiplash injury; cause analysis; training strategies

随着福建舰的下水试航, 预示着我海军对舰载战斗机飞行员的需求量将进一步增加。同时, 伴随着福建舰配备的电子弹射起飞装置和拦阻着舰, 对飞行员身体能力提出了更高要求, 对飞行员的颈肌能力提出了更高要求。当前, 舰载战斗机技、战术实战实训要求, 提升了舰载战斗机飞行员飞行训练强度和密度, 加速了飞行员身体的消耗, 加快了飞行员颈部伤病(挥鞭伤)问题的发生, 如果消耗过大和恢复不及时, 很容易引起颈部进一步损伤, 严重时可能成为阻碍舰载战斗机战斗力生成的重要原因之一。

1 颈部生理基础与挥鞭伤释义

颈部由多个筋膜层组成, 包括颈浅筋膜、深筋膜中层和深层。这些筋膜层不仅包绕着颈部的血管及神经、还形成多个间隙, 如胸骨上间隙、锁骨上间隙、气管前间隙等。

1.1 颈椎生理结构

颈椎是颈部的重要结构, 由7块颈椎骨组成, 这些颈椎骨通过椎间盘和韧带相连, 形成向前凸的胜利弯曲。颈椎的特点包括体积较小, 灵活性大、活动频率高, 以及具有特殊的孔洞和寰枢椎结构, 这些结构使得颈椎能够进行较大的旋转运动。颈椎是脊柱的最上方节段, 与胸椎相延续。它与头部链接并提供支撑, 并构成颈部的骨架。颈椎是整个脊柱中活动范围最大的部分, 在纵、横方向上均可头部做几乎180度的运动。颈椎作为整个脊柱中最具灵活性的节段, 是最易受损伤的部位。

1.2 颈部肌群构成

颈部肌群分为浅中深三层。颈浅层肌群: 斜方肌、颈

阔肌和胸锁乳突肌。颈部中层肌群: 头夹肌、颈夹肌和肩胛提肌。深层肌群头半棘肌内外丛、颈长肌、头长肌和前中后斜角肌。

1.3 颈部功能

颈部是连接头部和躯干的重要部位, 它不仅支撑着头部重量, 还支撑头部进行多种运动, 如前后屈伸、左右侧屈、左右转动、上下伸缩等。这些运动主要有颈部的肌肉和筋膜结构支持。颈部的灵活性大, 使得颈部能够在三个维度上进行广泛的上下伸缩、左右转动和前后伸展。这种灵活性对于日常生活中的各种动作和运动至关重要。

1.4 挥鞭伤释义

颈部挥鞭伤由后方或侧方撞击所致的颈部瞬间过度伸展或过度屈曲, 造成颈部骨、肌肉、韧带、血管、神经损伤。舰载战斗机飞行员颈部挥鞭伤, 因加速起飞导致身体的颈部快速后伸, 着舰时受到拦阻索的作用致使身体和头部减速不一致, 导致头部爆发式向前挥鞭减速, 造成颈部过度前伸, 引起颈部肌肉、血管和韧带和神经的损伤。挥鞭伤与加速度变化值称正相关, 加速度越大, 导致颈部的后屈和前伸越严重。

2 舰载战斗机起飞、着舰过程中飞行员颈部力学分析

2.1 舰载起飞时飞行员颈部力学分析

舰载战斗机起飞方式, 分为滑跃式和电磁弹射两种。飞行员通过操纵止动轮档加至油门最大后打开加力, 由舰面控制制动轮档, 飞机滑出, 通过上翘舰首时飞机被抛入

到规定高度和速度的起飞轨迹(舰载战斗机最小起飞速度为 240km/h)，滑出阶段加速时飞行员要承受水平方向加速度，此过程飞行员能感到很强的推背感，身体向前滑出的同时，会拉扯头部向前加速，头部会产生短暂的向后挥鞭动作。通过舰首时，因上翘角的关系，改变了加速度的方向，使加速度方向变为前上，也就是水平和垂直方向的加速度。弹射起飞方式造成的影响更大，如美国的“尼米兹”级核航母的蒸汽弹射器在几秒内可将舰载机从零加速到 300 多 km/h 的高速，18 舰电磁弹射系统加速起飞时，同样在极短的时间，将舰载战斗机加速到起飞速度，这个过程短暂、冲击力强，会造成飞行员几倍于自身体重的过载，导致飞行员头部向后挥鞭样甩出，因颈部过度向后伸展，前侧颈阔肌和左右胸锁乳突肌向后伸展，前纵韧带被伸展；后侧肌群头夹肌和颈夹肌成压缩收缩状态，容易引起飞行员颈部功能障碍，严重者出现不适。(如图 1、2) 因此，需要对飞行员进行专门力量和对抗挥鞭动作训练，才能使飞行员承受较大的冲击过载，否则很容易造成飞行员颈部损伤。



图 1 起飞造成头部后伸

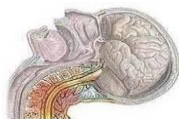


图 2 颈部过度后伸

2.2 舰载阻拦着舰过程中飞行员颈部力学分析

舰载战斗机着舰技术是定点着舰，在着舰的下滑线上，舰载机以平均 3.5m/s 的下降速率，水平速度不高于 240km/h，下滑至两主轮结实墩地，飞行员着舰的瞬间，颈部不仅要承受下降瞬间的压缩力，还要承受水平方向向后的加速度过载。着舰时，由于冲击引起飞机在垂直方向的瞬间过载 7G 以上，同时由于受到拦阻索的阻拦减速，还要承受在失状轴上 4G~5G 的轴向过载^[1]。在阻拦减速的同时，因为巨大的向前冲力，身体因固定在座椅，减速过程与飞机同步，头部因连接颈部，无固定支撑，导致身体与头部减速不一致，头部减速慢于身体，减速过程依靠颈部的拉扯，致使头部向前快速向鞭梢一样甩出，(如图 3、4) 很容易造成颈部肌肉、骨骼和血管损伤。每一次的挂索着舰，头部都要经历一次挥鞭动作，如果不进行颈部动作干预和训练增强，很容易造成颈部肌肉、血管和神经组织带来的过度牵拉损伤。



图 3 阻拦造成头部前屈



图 4 头部过度前屈

3 舰载战斗机飞行员挥鞭伤原因分析

3.1 舰载战斗机飞行员挥鞭伤外因分析

3.1.1 长期职业影响，引起颈部伤病

因飞行任务需求，舰载战斗机飞行员的身体需长期暴

露于航空环境中，其中的振动环境、加速度环境对飞行员的身体，如颈部、肩部、胸背部和腰腹部均有着较大的影响，身体各部位为了调整微平衡，会加速消耗身体的能量，并使某些部位的肌肉长期处于紧张工作状态，致使肌肉亏损严重，累计效果会加速脊柱周围肌群转化和萎缩，直接导致力量出现负债状态。同时，因飞行装备，特别是飞行头盔的影响会额外增加颈部的负担，因此，舰载战斗机飞行员因所处的环境比普通飞行员更加恶劣，更容易引起颈部的疾病。特别是在舰载战斗机起飞、着舰时，如果身体准备不充分，身体姿态不正，会加速颈部挥鞭伤的发生。

3.1.2 训练不够重视，缺乏考核牵引

通过对《军事体育训练大纲》的研究，针对飞行员颈部训练内容有颈肌拉力，但是没有颈部考核的相关要求。因此，飞行员体育训练时，针对脊柱和颈肌训练的内容缺乏重视，颈部力量消耗后，没有及时补充和康复增强，大部分飞行员只是训练大纲考核规定内容，训练的盲从，导致部分飞行员脊柱周围肌群消退严重，关节稳定性下降明显，关节囊松动不稳，极易在某些飞行课目中造成颈部挥鞭伤。

3.1.3 人才数量不足，缺乏专业指导

目前海军航空兵部队在军体人才的储备上还存在较大缺口，各单位军体骨干和参谋人员均是其他专业人员兼职，能指导舰载战斗机飞行员身体训练的人才还比较稀缺，大部分军事体育教员和参谋还停留在基础体育训练上，对于身体恢复和保健训练研究还不深入。其次通过座谈了解到，各单位飞行员在组织训练过程中较随意，不能严格按照计划实施。最后，在体育训练当中，医体融合不紧密，对于飞行员身体健康和训练，还停留在各自擅长领域，没有将医体训练进行融合，导致在康复和增强训练的开展还不够深入。

3.1.4 存在伤病风险，不注重恢复和保养

舰载战斗机飞行员因长期的飞行训练，颈部脊椎和肌群或多或少出现过损伤。虽然从医学检查属于正常值，但是从运动功能和力量检测，大部分飞行员颈部功能和力量达不到正常值，同时，部分飞行员因缺乏相关认识，认为只要颈部没有疼痛和不适感，就不会过多干预。医学检测出常规的病理后，其恢复方式均是以静养为主，没有将康复和增强训练融入到训练当中。导致飞行员平时不注重颈部的训练和保养，致使颈部功能丢失较为严重，颈部肌肉退化、僵硬，颈部应激功能下降，遇到较大的载荷时，会加速挥鞭伤的发生和反复。

3.2 舰载战斗机飞行员挥鞭伤内因分析

查阅资料显示，从表 1 可以看出，舰载机在拦阻着舰时，着舰速度应小于 240km/h，在接近最低速度时，飞机将承受-3.7G 反向载荷，而飞行员头部会承受因冲击带来的-6.71G 冲击过载（1 秒左右），并且这种冲击过载能够

快速传递到颈部。这一过程如果反复进行，对飞行员颈部损伤有潜在的可能性。因为舰载战斗机飞行员在拦阻着舰过程中，颈部暴露在一个冲击载荷环境中，在惯性力和接触力的作用下，各部分组织将产生较强的生物力学响应。生物力学响应如果使人体组织超过可以恢复的限度，导致解剖学组织破坏或使正常生理功能变化或丧失，就会造成颈椎损伤、脊椎压缩量过大，器官移位和变形、短暂视力丧失等^[2]。这些损伤如果不能及时恢复，就会产生累积效应，产生病理变化，最终影响飞行安全，严重情况造成飞行员颈部功能障碍，就有可能致使飞行员停飞，降低战斗力。

表1 拦阻着舰飞机与飞行员颈部过载情况表

挂索速度 (km/h)	飞机过载 (G _x 向最大)	头部过载 (G _x 向最大)
196	-2.09	-2.93
209	-2.56	-3.58
211	-2.78	-3.79
212	-2.90	-3.64
213	-2.76	-4.18
215	-3.08	-4.48
239	-3.66	-6.71

飞行员头部G_x向过载趋势和飞机G_x向过载趋势具有良好一致性。但是，前者峰值均高于后者峰值，差值随飞机挂索时的速度增大呈现出放大趋势，这一现象在挂索速度超过某一速度后表现明显（见图5）。初步分析原因可能是由于飞机本身出于结构安全考虑，进行了严格的过载限制，而人体本身是一套复杂的阻尼系统，现有技术条件无法完全掌握其振动规律，加之头颈部之间非刚性连接，运动存在较低约束造成。

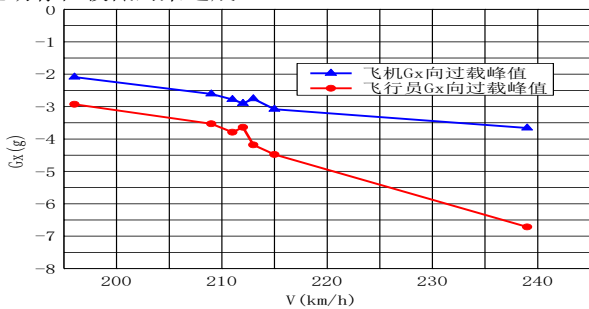


图5 飞行员头部G_x向和飞机G_x向过载峰值时间历程曲线

通过共性结论分析，我们期望能够得出一个结论，即挂索时飞行员头部究竟会有多大的损伤概率。通过搜集资料，我们认为，现有条件下可以参考目前国际上广泛使用的美国机动车安全标准 FMVSS 208 中头部损伤判断准则（HIC, Head Injury Criterion），我国民航 CCAR 23 部中也引用了此项准则。准则中规定 HIC=1000 为头部耐受阈值^[2]。

资料显示，同一飞行员在两个相对较大速度制动时的

G_x 过载数据进行计算和初步分析，结果见图6。

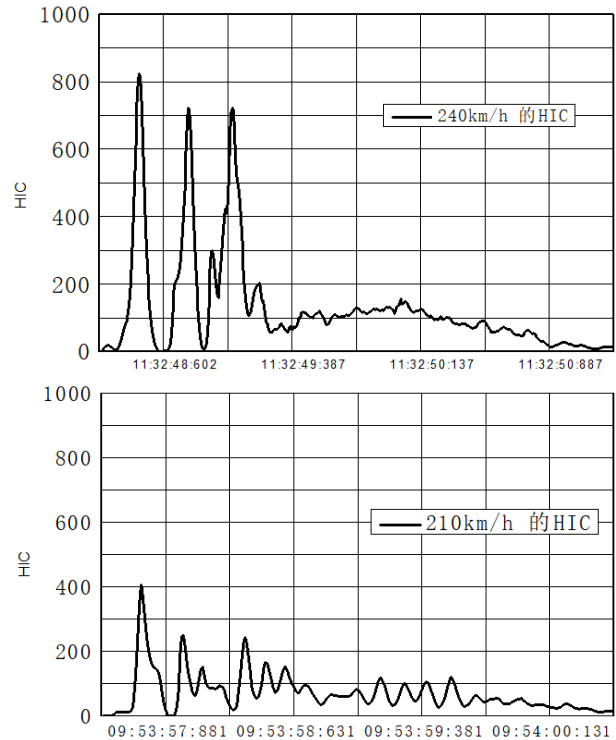


图6 不同速度制动下的飞行员头部HIC曲线

图中两个HIC曲线中的峰值均没有超过1000，但是在挂索制动速度240km/h（G_x峰值：-6.7g）时，飞行员头部有10%左右的损伤概率，挂索制动速度210km/h（G_x峰值：-4.5g）时，飞行员头部的损伤概率降至1%以下（见图7）。

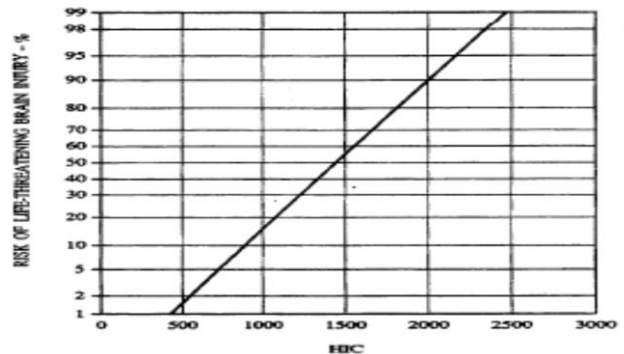


图7 不同HIC值下头部损伤概率

据美军资料报道，舰载机飞行员颈项痛发生率极高，如美太平洋舰队F/A-18舰载战斗机飞行人员有74%以颈项疼痛为首发症状的头颈部损伤发生，并因此导致的临时停飞时间平均为3个飞行日，严重影响了正常的飞行训练^[3]。

4 飞行员颈部伤病预防及功能增强训练对策

加强舰载战斗机飞行员颈部损伤和挥鞭伤的相关知识的学习，提高飞行员对颈部的保护意识，帮助设计科学合理的训练方案，指导飞行员颈部进行针对性训练，帮助飞行员颈部伤病快速恢复，增强颈部功能，解决飞行员颈

部伤病的不适影响。飞行员颈部功能恢复训练以静力性拉伸训练为主，以动力性训练为辅。增强训练以动力性训练为主，以静力性拉伸训练为辅。

4.1 颈部功能评估

评估前，确保颈部医学检查是健康的，或者无损伤史。通过对颈部进行前屈测试、后伸测试、旋转测试和侧屈测试，评定飞行员不同旋转角度的颈部部功能状态，见图 8。



图 8 颈部功能评估

4.2 颈部功能恢复

功能训练前，确保颈部医学检查是健康的，通过对颈部各角度进行静力拉伸和静力对抗练习，训练方式以自身对抗为主，通过伸展牵拉、前屈对抗、后伸对抗、旋转对抗和侧屈对抗等方式，帮助恢复颈部功能，激活颈部周围对应的肌群，协调肌群之间的链接，提升飞行员颈部功能状态，见图 9。



图 9 颈部功能训练

4.3 颈部增强训练

当颈部训练恢复正常功能后，通过以动力性对抗训练为主，静力对抗训练为辅，采用针对性的颈部肌肉力量训练器和弹力带，着重增强颈部前后左右肌群力量，特别要加强颈部的旋转对抗练习，提升颈部螺旋力量，增加肌肉维度，提高肌肉的活性和关节的稳定性。同时，对颈部伤病康复起到较好的推动作用，见图 10。

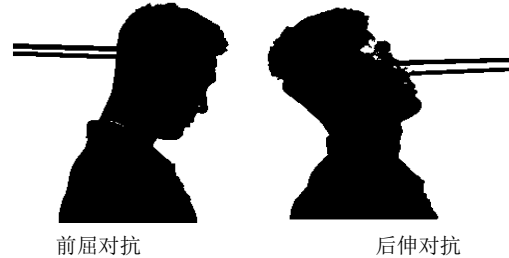


图 10 颈部增强训练

5 结语

颈部挥鞭伤是舰载战斗机飞行员军事训练的常见伤病之一，如何更好的预防颈部挥鞭伤的发生，提升战斗力，需要飞行员针对颈部训练做好以下几点：一是加强颈部功能的安全评估和恢复训练，消除疲劳和不良状态，预防伤病的进一步发生；二是经常性保持颈部功能性和稳定性训练，提升颈部功能健康水平；三是提高颈部针对性力量训练，着重增强颈部周围肌群的力量，平衡周围肌群、消除肌紧张状态；四是经常性模仿挥鞭性动作，在身体和心理上做好充足准备，能降低颈部突发性伤病的发生。

[参考文献]

[1]李成,张玉梅,李永刚. 舰载机飞行员适应职业环境特点的特殊体能需求分析[J]. 军事体育学报,2015,34(2):113-116.

[2]段亚,朴星日,李研生. 特殊作业条件下头部过载对人体的影响[J]. 航天医学与医学工程,2014,27(1):10-14.

[3]朱铮,刘姿芝,韩寒. 舰载机飞行员的防护救生装备——舰载机飞行员防护救生特点[J]. 中国个体防护装备,2022(1):4-7.

[4]张建,王庆敏等. 外军航母舰载机飞行员职业特点分析[J]. 海军医学杂志,2012,33(2):144-145.

[5]项子恒,李旭东,李晓东. 头部撞击发动机罩板的力学响应分析[J]. 甘肃科技,2012,28(8):79-80.

[6]任启凡. 汽车碰撞事故中乘员颈部复杂姿势下的生物力学研究[D]. 长沙:长沙理工大学,2022.

作者简介:吴海平(1982—),男,汉族,安徽望江,硕士,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。席涛(1998—),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。