

文章编号:1004-7220(2011)01-0034-05

空军飞行员颈肌强度的研究

成海平¹, 李交杰², 季思菊², 王致洁¹, 刘宝善¹

(1. 空军航空医学研究所 生物力学实验室, 北京 100142; 2. 空军杭州疗养院, 杭州 310013)

摘要: **目的** 研究空军飞行员颈部各肌群的强度及其在航空动力环境中的意义。**方法** 采用 CME-1 飞行员颈肌训练器对 149 名空军飞行员颈部前、后、左、右肌群进行等长测试。每一个方向测量 10 次, 10 次中最大峰值作为该侧肌群的强度; 计算每侧 10 次测试的峰值均值与肌群强度比值, 反映飞行员的耐力。**结果** 空军飞行员前、后、左、右各肌群的强度分别为 $(132.0 \pm 42.2) \text{N}$ 、 $(205.2 \pm 82.2) \text{N}$ 、 $(174.3 \pm 76.4) \text{N}$ 和 $(191.2 \pm 78.3) \text{N}$, 前屈和后伸肌群分别与其他肌群比较有显著性差异 ($P < 0.001$), 左、右侧屈肌群之间的比较亦有显著性差异 ($P < 0.001$), 前屈肌群强度最小, 后伸肌群强度最大, 左右侧肌群强度居中, 且右侧肌强度大于左侧。前、后、左、右各肌群反复测试 10 次的各次最大肌力均值与肌强度之比分别为 74.24%、72.86%、72.75% 和 68.72%。**结论** 为了充分发挥高性能战斗机的机动性能, 最大限度地减少加速度导致的飞行员颈部损伤, 应鼓励空军飞行员在地面进行颈肌强度训练, 并掌握好飞行过程中头部控制技术。

关键词: 颈肌强度; 飞行员; 负荷; 耐力; 航空动力学

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

Research on cervical muscle strength in air force pilots

CHENG Hai-ping¹, LI Jiao-jie², JI Si-ju², WANG Zhi-jie¹, LIU Bao-shan¹ (1. *Biomechanical Laboratory, Institute of Aviation Medicine of Chinese PLA Air Force, Beijing 100142, China*; 2. *Air Force Sanitarium, Hangzhou 310013, China*)

Abstract: Objective To evaluate neck muscular strength (NMS) of the air force pilots and its role in the circumstance of aerial dynamics. **Method** The tests were performed by using CME-1 Neck Muscle Training Machine with 149 pilots volunteered as test subjects. Each individual's maximal isometric NMS was evaluated in the extension, flexion, left and right lateral bending directions within a single day. The NMS in each direction was tested for 10 times to choose the maximal peak value in each direction as the NMS for data analysis. The mean of overall peak value in each direction was calculated as the mean neck muscular strength (MNMS). The ratio (r) between MNMS and NMS was calculated to reflect the neck muscular endurance in pilots. **Results** The NMS in the flexion, extension, and left and right lateral bending directions was $(132.0 \pm 42.2) \text{N}$, $(205.2 \pm 82.2) \text{N}$, $(174.3 \pm 76.4) \text{N}$ and $(191.2 \pm 78.3) \text{N}$ respectively, the NMS in the extension or flexion direction was significantly different ($P < 0.001$) compared with NMS in all the other directions, and the right NMS was significantly higher than the left NMS ($P < 0.001$). The ratios between MNMS and NMS in the flexion, extension and left and right lateral bending directions were 74.24%, 72.86%, 72.75% and 68.72% respectively. **Conclusions** To Maximize the efficiency in flight performance and minimize neck injuries induced by +Gz, fighter pilots should be encouraged to perform more on-land neck muscle strengthening exercises and improve their head-positioning techniques during flight.

Key words: Neck muscular strength; Pilot; Loads; Endurance; Aerodynamics

收稿日期: 2010-05-31; 修回日期: 2010-10-29

通讯作者: 成海平, 教授, 主任医师, 研究员, Tel: (010)66927132; E-mail: chenghpam@sina.com。

随着科学技术的高度进步,战斗机框架复合材料、推进系统、飞行控制和航空电子等方面取得了重要进展,战斗机已发展到第4代。以美国F22为代表的第4代战斗机,其飞行性能具有超音速巡航、隐身、过失速机动和短距起飞降落4大台阶式特征,即所谓的“S⁴”概念。战斗机这些飞行性能台阶式的提高明显地增加了飞行员的心理、生理负荷,并使之超过常人所能承受的生理能力和耐力。在生理负荷方面,飞行员不仅要经受高G值和高G增长率,同时头盔质量,加之头盔的附加装置(如夜视仪、瞄准具等)以及氧气面罩增加的负荷,使飞行员处于更易于损伤和不利于健康的危险境地^[1];特别是加剧了飞行员颈部急、慢性损伤的问题。

在空中,飞行员必须保持抵御受敌攻击的警觉性。包括在高+Gz状态下控制头颈部前、后、左、右运动以便观察目标,这是易造成飞行员损伤的危险动作,特别是颈部损伤。因此,暴露于高+Gz状态下引起飞行员颈部损伤已成为特殊的职业健康问题^[2,4]。Albano等^[5]对美国空军268名F-16飞行员的调查发现:1年内颈部损伤发生率为56.6%,F-16飞行员的整个职业生涯中颈部损伤的发生率为85.4%。Loose等^[6]对90名比利时和荷兰F-16飞行员的调查发现:1年内颈痛发生率为18.9%。Alricsson等^[7]研究表明:瑞典空军喷气式飞机飞行员在1年内有37%经历过颈部不适,而其他军队服役人员只有12%。Sharma等^[8]对55名印度Mi-8和Mi-17直升机飞行员调查,这些飞行员的头盔都安装有夜视仪,结果发现:Mi-8直升机飞行员颈痛发生率为19.04%,Mi-17直升机飞行员颈痛发生率为22.22%。柳松杨等^[9]对1924名军机飞行员颈部损伤情况进行问卷调查,涉及初教机、强击机、歼击机、轰炸机、运输机及直升机飞行员。结果表明,71.3%的飞行员曾有过颈部不适症状,60.4%的飞行员颈部不适发生在飞行中;有33.7%的飞行员曾有过颈部疼痛症状,19.2%的飞行员的颈部疼痛症状发生在飞行中。Kikukawa等^[10]对129名日本自卫队F-15飞行员的研究调查显示:G相关的颈痛和其他临床症状的流行高达89.1%,创急性颈部不适的最高纪录;其中经历过颈痛达95%,平均每人经历过7.6次。而F-1飞行员发生过颈痛的为15%,F-4经历过颈痛的为30%。Newman^[11]报道:澳大利亚皇家

空军的F/A-18飞行员颈部损伤的发生率为85%。

目前国内外所用的测试颈肌强度的设备包括等长模式和等张模式两种。等长模式包括Berg等^[12]报道的液压阻力计,Schall^[13]报道西点军校使用的四通道颈肌训练器(屈、伸、左和右侧屈),还有新加坡空军所用的等长模式的颈肌测力计;等张模式包括德国的颈肌训练器和我国曾报道的等张颈肌训练器。等张测试都是用砝码提供阻力,等张模式不能保证超负荷时颈部不受损,安全性是个问题,因为应用砝码进行颈肌强度的等张测量很难准确地添加适合的重量,精度上亦难以保证,并且操作麻烦。等长测试虽然不能提供颈部关节全活动范围的测试,但能在非常安全状态下对颈肌强度进行较精确的测量。由于人体的几何形态的不规则性、肌肉配布的不对称性,以及用力方向与测试方向难以达到完全的一致,目前报道的这些测试方法都难以解决这个问题,因此,在精度上难以达到十分满意的程度。

关于颈肌强度方面的研究资料在评价高+Gz载荷环境下颈椎损伤的危险性方面有重要的意义,在理解颈肌对保护颈椎的作用方面提供了研究的方向。在静态和动态运动中,颈肌的强度被认为是适合于作为评价颈肌在维持姿态和平衡方面的主要功能指标。Alricsson等^[14]和Seng等^[15]分别对瑞典和新加坡空军飞行员和普通人群的颈肌强度进行了测试,结果都表明:两者的颈肌强度没有显著性差异,这充分说明了空军飞行员的颈椎病的发生率明显高于普通人(1.7%~17.6%)^[16]的原因是飞行员的颈肌强度不能足够地承受飞行中的高载荷。本研究应用CME-1型飞行员颈肌训练器^[17]测量空军飞行员颈部前屈、后伸和左、右侧屈各肌群的强度,比较各肌群之间的差异性,并分析这些指标在飞行中,特别是在高+Gz环境下的生理和病理生理学意义。

1 资料和方法

1.1 测试对象

男性空军飞行员共149名,年龄(32.2±6.3)岁,身高(172.5±5.8)cm,体重(72.3±7.3)kg,平均飞行时间(1636.2±1143.8)h。

1.2 测试方法

应用CME-1飞行员颈肌训练器^[17]对测试对象的前、后、左、右各肌群强度进行等长测试,颈肌强度

的测试方法是应用扭矩传递组件、扭矩传感器和数据采集系统对颈肌强度进行等长肌力测量,其中扭矩传递组件基本解决了人体的几何形态的不规则性、肌肉配布的不对称性,以及用力方向与测试方向难以达到完全的一致而影响测试精度的问题,能保证测试精度在0.5%以内。具体测试方法如下:

1.2.1 测试前热身运动

耸肩4个8拍,颈部左右侧屈4个8拍,颈部前屈后伸4个8拍,颈部左右旋转4个8拍,俯背运动4个8拍,体侧运动4个8拍,体转运动4个8拍,整理运动4个8拍。

1.2.2 体位和固定方法

被测试的飞行员坐在颈肌训练器相应的训练座椅上,调节椅盆高度,使第7颈椎棘突对准训练器的定轴上,头处于中立位,用固定带交叉固定躯干,用头部固定环和固定带固定好头部,双手紧握座椅扶手,以便固定肩部,双小腿悬空,避免下肢用力影响颈肌强度测试结果(见图1)。



图1 颈肌强度测试的体位和固定方法

Fig.1 Test position and fixing method for neck muscular strength test

1.2.3 等长测试参数设置

被测人员固定好后,设置颈部前屈、后伸,左侧屈、右侧屈肌群等长测试参数如下:各个肌群强度测试均在中立位,即头颈部处于0°状态下进行,最大用力等长测试10s,间隙休息10s,共测试10次。

参数设置好后,听从计算机指令,按规定的方向尽最大努力进行等长收缩用力或休息,直到同一方向测试结束,休息10min后再进行另一方向测试。

1.3 统计学方法

采用SPSS13.0软件包进行统计学处理,试验数据以均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示,采用t检验统计方法,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

1.3.1 根据测试报告统计149例飞行员各肌群10次测试中的最大肌力的均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)作为颈肌强度(neck muscular strength, NMS)。

1.3.2 统计每个飞行员各肌群10次测试每次的最大肌力的均值±标准差($\bar{x} \pm SD$),再计算各肌群10次测试的最大肌力的均值(mean neck muscular strength, MNMS)与颈肌强度的比值(r),比较各肌群之间比值的差异性,通过这个比值了解飞行员颈部重复用力后肌强度的平均衰减情况,从而反映飞行员的耐力。

2 结果

所有的被试者在无痛和无明显不适的状态下完成了测试,149例空军飞行员前、后、左、右NMS分别为(132.0±42.2)N、(205.2±82.2)N、(174.3±76.4)N和(191.2±78.3)N(见表1),前、后、左、右各肌群10次测试MNMS分别为(98.0±30.2)N、(149.5±82.2)N、(126.8±47.1)N和(131.4±47.0)N(见表1)。无论是NMS,还是10次测试的MNMS,都是后伸肌群最大,前屈肌群最小,右侧肌群比左侧肌群大,前屈和后伸肌群分别与其他肌群相比有显著性差异($P < 0.001$),左、右侧肌群之间

表1 149例空军飞行员颈部前、后、左、右各肌群颈肌强度(NMS),平均颈肌强度(MNMS),各肌群MNMS/NMS比值(r)

Tab.1 Statistics of neck muscular strength (NMS), mean neck muscular strength (MNMS), ratio (MNMS/NMS) in the flexion (F), extension (E), left lateral flexion (L), right lateral flexion (R) directions for 149 pilots

	F	E	L	R
NMS/N	132.0 ± 42.2 *	205.2 ± 82.2 [△]	174.3 ± 76.4	▲191.2 ± 78.3
MNMS/N	98.0 ± 30.2 *	149.5 ± 82.2 [△]	126.8 ± 47.1	▲131.4 ± 47.0
r/%	74.24	72.86	72.75	68.72

注: * 为与其他肌群比较差异有显著性($P < 0.001$)

[△] 为与其他肌群比较差异有显著性($P < 0.001$)

▲ 为左右侧肌群之间强度的比较差异有显著性($P < 0.001$)

的比较亦有显著性差异($P < 0.001$)。前、后、左、右各肌群 10 次测试的最大肌力的平均值与颈肌强度的比值 r 分别为 74.24%、72.86%、72.75% 和 68.72%,各肌群间的比值没有明显的差异($P > 0.05$)(见表 1)。

3 讨论

当头部处于中立位时,一部分 +Gz 载荷由颈椎承担,一部分载荷由颈肌承担,对于作用在颈部的载荷颈部肌肉具有过滤功能。由于颈肌在过滤作用于飞行员脊柱颈段的 +Gz 载荷方面起着重要的作用,高过载时,飞行员没有足够的准备(如处于被动飞行的后座飞行员),颈部的姿态未处于中立位,颈肌承担的载荷过大,在颈肌的强度又不足以抵抗飞行载荷时,颈肌损伤是很常见的。本研究结果表明:颈部各肌群的强度是不对称的。由表 1 可知,后伸肌群强度最大,前屈肌群强度最小,左、右侧肌群强度居中,且右侧肌群的强度比左侧大,可能是与右利者较多有关,需进一步调查研究;从解剖角度看,各肌群肌肉的配布体积的大小情况也是如此。由于各肌群肌肉配布的不对称性以及肌群强度的不对称性,当高载荷如 +Gz 来临时,头部未处于中立位,如头部前屈或侧屈,或头部正在做“check-six”动作,增加了作用力的力臂,从而增加了颈肌的负担,将有可能造成颈肌或韧带的损伤,严重时可引起颈椎骨折,特别是未进行颈肌强度训练的飞行员更是如此。按头部质量为 5 kg,头盔和附加装置及其面罩 2.3 g,共计 7.3 kg;机动飞行中,当加速度达到 +9 Gz 时,颈部 Z 轴要承担 65.7 kg 的载荷。对于舰载机飞行员来说,颈肌强度训练更为重要,因为阻拦着舰时,人体 X 轴(前后方向)所经受的加速度(G_x)高达 -3.0 G 至 -4.0 G 以上,按加速度为 -4.0 G_x 计算,颈部后伸肌群要经受 29.2 kg(286.16 N)的载荷;而本研究的结果表明一般飞行员伸肌的平均强度仅为 205.2 N,如果头部位置控制不好,产生颈部损伤可能性是很大的。

从表 1 可知各肌群 10 次测试最大肌力的平均值与肌群强度的比值 r 看,各肌群在相同的时间内反复用力的最大肌力的均值为肌群强度的 70% 左右,但这是无外加载荷状态下,并且是可预知的条件下测试的。假如在未知的或不可推测的外加载荷反

复作用下,肌力的衰减程度会更加严重,也就是说在未知的高载荷状态下颈肌不仅易于产生疲劳,而且能否及时响应,或能否充分发挥肌群协同作用方面也存在一定问题。

据报道^[1,7],在空战动作中,为了减少颈肌的工作载荷,飞行员通常采用头颈位置控制策略,以便头颈自重和头盔载荷大部分由颈椎来支持,少部分由颈肌和座椅头靠来支持。通常采取的措施是:加大座椅后倾角,在高 +Gz 状态下,将头部支持在头靠上,用肩部和躯干及时协助颈肌使颈部在水平面上转动头部。虽然在飞行中采用这种保护性的头部定位对策能保护颈肌,但妨碍了飞行员在空战中与敌方的持续性视觉接触,减小了空战中的耐力。因此,为了最大限度地减少加速度导致的飞行员颈部损伤以及发挥高性能战斗机的机动性能,应鼓励空军飞行员在地面进行颈肌强度训练和提高头颈部的快速反应能力,并掌握好飞行过程中头部控制技术。

参考文献:

- [1] Seng KY, Lam PM, Lee VS. Acceleration effects on neck muscle strength: Pilots vs. non-pilots[J]. Aviat Space Environ Med, 2003,74(2):164-168.
- [2] Sovelius R, Oksa J, Rintala H, et al. Neck muscle strain when wearing Helmet and NVG during acceleration on a trampoline[J]. Aviat Space Environ Med,2008,79(2):112-116.
- [3] Coakwell MR, Blosswick D, Moser R. High-risk head and neck movement at high G and interventions to reduce associated neck injury[J]. Aviat Space Environ Med, 2004,75(1):68-80.
- [4] 成海平,柳松杨,俞梦孙. 颈肌强度训练对预防加速度致飞行员颈部损伤的作用[J]. 中国临床康复,2005,9(12):204-206.
- [5] Albano JJ, Stanford JB. Prevention of minor neck injuries in F-16 pilots[J]. Aviat Space Environ Med, 1998,69(12):1193-1199.
- [6] Loose VD, Oord MVD, Burnotte F, et al. Individual, work, and flight-related issues in F-16 pilots reporting neck pain[J]. Aviat Space Environ Med, 2008,79(8):779-783.
- [7] Alricsson M, Harms-Ringdahl K, Schuldt K, et al. Muscular strength and endurance in the cervical spine in Swedish Air Force pilots[J]. Aviat Space Environ Med,2001,72(4):336-342.
- [8] Sharma WCS, Agarwal WCA. Cervicalgia amongst heli-

- copter pilots helmet mounted devices[J]. *Ind J Aerospace Med*, 2008, 52(1):1-7.
- [9] 柳松杨,从红,王鹤,等. 军机飞行员的颈部损伤研究[J]. *医用生物力学*,2010, 25(4):262-265.
Liu SY, Cong H, Wang H, *et al.* Study on neck injuries in military pilots[J]. *Journal of Medical Biomechanics*,2010, 25(4):262-265.
- [10] Kikukawa A, Tachibana A, Yagura S. G-related musculo-skeletal spine symptoms in Japan air self defense force F-15 pilots[J]. *Aviat Space Environ Med*, 1995,66(3):269-272.
- [11] Newman DG. +Gz-induced neck injuries in royal Australian air force fighter pilots[J]. *Aviat Space Environ Med*, 1997,68(8):520-524.
- [12] Berg HE, Berggren G, Tesch PA. Neck resistance training-An approach to prevent neck disorders in fighter pilots [J]. *Aviat Space Environ Med*, 1994, 65:453.
- [13] Schall DG. Non-ejection cervical spine injuries due to +Gz in high performance aircraft [J]. *Aviat Space Environ Med*, 1989, 60:445-446.
- [14] Alricsson MA, Harms-Ringdahl K, Schüldt K, *et al.* Mobility, muscular strength and endurance in cervical spine in Swedish air force pilots [J]. *Aviat Space Environ Med*, 2001,72(4):336-342.
- [15] Seng KY, Lam PM, Lee VS. Acceleration effects on neck muscle strength: Pilots vs. non-pilots[J]. *Aviat Space Environ Med*, 2003,74(2):164-168.
- [16] 龙咏,徐德忠. 航空流行病学(第二版)[M]. 西安:第四军医大学出版社,2010:348-355.
- [17] 成海平,王致洁,柳松杨,等. CME-1型飞行员颈肌训练器的研制及其应用[J]. *中华航空航天医学杂志*,2008,19(3):215.

(上接第17页)

- [3] Degertekin M, Saia F, Lemos PA, *et al.* Sirolimus-eluting stents for the treatment of in-stent restenosis [J]. *Minerva Cardioangiol*, 2003, 51: 75-484.
- [4] Jack P. Chen. Safety and efficacy of the drug-eluting stent: A double-edged sword [J]. *Southern Medical Association*, 2008, 101(2): 174-178.
- [5] Urban P, Gershlick AH, Guagliumi G, *et al.* Safety of coronary sirolimus-eluting stents in daily clinical practice: One-year follow-up of the e-cypher registry [J]. *Circulation*, 2006, 113(11): 1434-1441.
- [6] Serruys PW, Sianos G, Abizaid A, *et al.* The paclitaxel in-stent controlled elution study (PISCES): The effect of variable dose and release kinetics on neointimal hyperplasia using a novel paclitaxel-eluting stent platform [J]. *Journal of the American College of Cardiology*, 2005, 46(2): 253-260.
- [7] Nordmann AJ, Briel M, Bucher HC1. Mortality in randomized controlled trials comparing drug-eluting vs. bare metal stents in coronary artery disease: A meta-analysis [J]. *Eur Heart J*, 2006, 27(23): 2784-2814.
- [8] Yang CM, Burt HM. Drug-eluting stents: Factors governing local pharmacokinetics [J]. *Adv Drug Deliv Rev*, 2006, 58(3): 402-411.
- [9] Gijzen FSH, Oortman RM, Wentzel JJ, *et al.* Usefulness of shear stress pattern in predicting neointima distribution in sirolimus-eluting stents in coronary arteries [J]. *Am J Cardiol*, 2003, 92(11): 1325-1328.
- [10] Farb A, Heller PF, Shroff S, *et al.* Pathological analysis of local delivery of paclitaxel via a polymer-coated stent [J]. *Circulation*, 2001, 104(4): 473-479.
- [11] Veer MV, Nico HJP, Aarnoudse W, *et al.* Evaluation of the hemodynamic characteristics of drug-eluting stents at implantation and at follow-up [J]. *Eur Heart J*, 2006, 27(15): 1811-1817.
- [12] Balakrishnan B, Tzafirri AR, Seifert P, *et al.* Strut position, blood flow, and drug deposition: Implications for single and overlapping drug-eluting stents [J]. *Circulation*, 2005, 111(22): 2958-2965.
- [13] Kolachalama VB, Tzafirri AR, Arifin DY, *et al.* Luminal flow patterns dictate arterial drug deposition in stent-based delivery [J]. *Journal of Controlled Release*, 2009, 133(1): 24-30.