

高性能战斗机飞行员运动心肺功能现状及年龄因素相关性研究

黄 炜, 李 雪, 杨友东, 徐建华, 李交杰, 陈晓健, 王 军, 沈祺静

【摘要】 目的 了解空军高性能战斗机飞行员运动心肺功能现状, 研究年龄因素对其运动心肺功能的影响。**方法** 回顾性分析 2018 年 4 月至 2019 年 12 月来院特勤疗养的空军高性能战斗机飞行员的运动心肺功能测试资料, 了解其心肺功能的现状; 按飞行员年龄分 4 组, A 组(年龄 < 30 岁)、B 组(30 岁 ≤ 年龄 < 35 岁)、C 组(35 岁 ≤ 年龄 < 40 岁)、D 组(年龄 ≥ 40 岁), 研究组间运动心肺功能试验相关指标差异。**结果** 空军高性能战斗机飞行员运动心肺功能现状: 峰值摄氧量为 (2381.28 ± 352.28) mL/min、无氧阈 AT 摄氧量为 (20.25 ± 3.68) mL · min⁻¹ · kg⁻¹、峰值公斤摄氧量为 (32.75 ± 4.77) mL · min⁻¹ · kg⁻¹、无氧阈占峰值摄氧量百分比为 (61.99 ± 7.72)%、峰值负荷为 (211.96 ± 28.59) Watt、峰值通气量为 (78.75 ± 12.97) L/min、峰值氧脉搏为 (15.36 ± 2.34) mL/bpm、峰值心率 (158.09 ± 13.52) bpm、峰值呼吸频率 (34.74 ± 6.63) 次/min、心率储备 (27.30 ± 12.00)、峰值代谢当量 (9.51 ± 1.43)、峰值呼吸交换率 (1.17 ± 0.05); 各年龄组运动心肺功能测试指标比较, 运用单因素方差分析, 显示 VO_{2peak}、VO_{2peak}/kg、METS、RER、峰值心率、LOAD 随年龄增大下降显著 ($P < 0.05$)。**结论** 随着年龄增大高性能战斗机飞行员运动心肺功能会呈现下降趋势, 会影响飞行耐力、工作负荷耐力, 需研究针对性措施。

【关键词】 高性能战斗机; 飞行员; 运动心肺功能

【中图分类号】 R851.3

【文献标志码】 A

【文章编号】 1672-271X(2021)03-0331-03

【DOI】 10.3969/j.issn.1672-271X.2021.03.025

0 引 言

运动心肺功能测试 (cardiopulmon exercise testing, CPET) 是评价机体心肺功能和整体功能状态的可靠手段^[1], 目前广泛运用于临床和运动领域^[2-4], 但在军事飞行员群体应用较少。高性能战斗机是航空兵部队战斗力主要构成, 其优越的机动性能对飞行员整体功能状态、心肺功能及其他一些特殊的能力和品质提出很高要求。本文主要了解高性能战斗机飞行员运动心肺功能现状, 研究年龄对运动心肺功能的影响, 为航卫保障提供飞行员相关数据, 现报道如下。

1 资料与方法

1.1 研究对象

回顾性分析 2018 年 4 月至 2019 年

12 月空军杭州特勤疗养中心疗养二区进行特勤疗养的 207 名空军高性能战斗机飞行员 CPET 资料。均为男性, 年龄 (34.61 ± 5.50) 岁、身高 (172.97 ± 3.13) cm、体重 (72.95 ± 6.39) kg、体重指数 (24.38 ± 1.91)。按年龄分组: A 组(年龄 < 30 岁) 47 名, B 组(30 岁 ≤ 年龄 < 35 岁) 66 名, C 组(35 岁 ≤ 年龄 < 40 岁) 53 名, D 组(年龄 ≥ 40 岁) 41 名。各组间身高、体重、体重指数比较均无统计学意义 ($P > 0.05$)。

1.2 方法 运用意大利科时迈 (COSMED), PET ERGO 型运动心肺功能测试仪, 选择自行车功率计运动方式, 按照规范化运动心肺试验实施流程^[5]对高性能战斗机飞行员进行试验。在完成设备定标^[6]、佩戴 12 导心电仪及血压计、佩戴气体采集面罩(确保密封)后, 采用静息 3 min、无负荷热身 3 min、从零负荷起以 25 W/min 功率递增速率极量负荷运动、无负荷恢复 5 min 的实施方案。要求无负荷热身、负荷运动时功率自行车计转速 60 r/min, 上下不超过 5 r/min, 无负荷恢复时功率自行车计转速 40 r/min 左右。极量运动判断指针: ①心率达到预计最大心率 (220 - 年龄); ② RER ≥ 1.15; ③随着

基金项目: 空军后勤科研项目 (CKJ18J015)

作者单位: 310007 杭州, 空军杭州特勤疗养中心疗养二区 (黄 炜、李 雪、杨友东、徐建华、李交杰、陈晓健、王 军、沈祺静)

通信作者: 李 雪, E-mail: 179700317@qq.com

运动持续 VO₂不再增加,出现摄氧量平台;④飞行员已经筋疲力尽,进行鼓励情况下依然不能保持功率自行车功率计规定转速,以上 4 项指针达到 3 项即可判定^[7]。出现提前停止运动指针^[5]之一立即停止运动:①头晕、眼花或眩晕等中枢神经系统症状;②运动中血压不升反降,下降超过基础静态血压 20 mmHg;③心电图出现病理性 Q 波,或严重心律失常,如多源频发的室性心律失常;④严重过高血压反应(如收缩压>300 mmHg)。

1.3 观察指标 峰值摄氧量 (VO_{2peak}), 无氧阈 AT 摄氧量 (VO₂/kg@AT), 峰值公斤摄氧量 (VO_{2peak}/kg), 无氧阈占峰值摄氧量百分比(%), 峰值负荷 (LOAD), 峰值通气量 (VE), 峰值氧脉搏 (O₂P_{peak}), 峰值心率, 峰值呼吸频率, 心率储备, 峰值代谢当量 (METS), 峰值呼吸交换率 (RER)。

1.4 统计学分析 采用 SPSS25.0 软件进行统计学分析。计量资料采用均数±标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间比较采用单因素方差分析 (单因素 AVOVA 检验), 以 $P \leq 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 空军高性能战斗机飞行员运动心肺功能现状 207 名高性能战斗机飞行员均未出现提前停止运动指针, 测试全程配合良好, 可达到极量运动标准。其运动心肺功能现状数据见表 1。

2.2 不同年龄段 CPET 指标比较 各组间 VO_{2peak}、VO_{2peak}/kg、METS、RER、峰值心率、LOAD 等指标差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 且上述指标均随

着年龄增大有所下降趋势, 其他指标各组间比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 2。

表 1 空军高性能战斗机飞行员运动心肺功能现状 ($n = 207, \bar{x} \pm s$)

| 运动心肺功能指标 | 统计值 |
|---|----------------|
| VO _{2peak} (mL/min) | 2381.28±352.28 |
| VO ₂ /kg@AT (mL·min ⁻¹ ·kg ⁻¹) | 20.25±3.68 |
| VO _{2peak} /kg (mL·min ⁻¹ ·kg ⁻¹) | 32.75±4.77 |
| 无氧阈占峰值摄氧量百分比 (%) | 61.99±7.72 |
| LOAD (Watt) | 211.96±28.59 |
| VE (L/min) | 78.75±12.97 |
| O ₂ P _{peak} (mL/bpm) | 15.36±2.34 |
| 峰值心率 (bpm) | 158.09±13.52 |
| 峰值呼吸频率 (次/min) | 34.74±6.63 |
| 心率储备 | 27.30±12.00 |
| METS | 9.51±1.43 |
| RER | 1.17±0.05 |

3 讨 论

CPET 是无创的心肺功能检查手段, 是国内外心肺功能评估的金标准^[8], 可弥补静息状态下心肺功能检测不足。CPET 核心检测指标 VO_{2peak} 主要反应机体的有氧代谢水平, 是客观反应心肺功能的指标, 也是心肺功能评级的重要依据; VO_{2peak}/Kg 纠正了体重对 VO₂ 的影响, 更为有效可靠; VO₂/kg@AT 是有氧代谢供能向无氧代谢供能转换的临界点, 其摄氧量越高代表有氧代谢能力越强。

表 2 不同年龄高性能战斗机飞行员运动心肺功能比较 ($\bar{x} \pm s$)

| 运动心肺功能指标 | A 组 ($n = 47$) | B 组 ($n = 66$) | C 组 ($n = 53$) | D 组 ($n = 41$) | P 值 |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
| LOAD (Watt) | 225.43±28.70 | 211.06±24.86 | 205.85±26.01 | 205.85±32.82 | 0.002 |
| VO _{2peak} (mL/min) | 2535.77±337.66 | 2379.32±324.20 | 2298.19±337.70 | 2314.76±383.71 | 0.003 |
| VO ₂ /kg@AT (mL·min ⁻¹ ·kg ⁻¹) | 21.49±4.14 | 20.06±3.53 | 19.83±3.19 | 19.70±3.76 | 0.065 |
| VO _{2peak} /kg (mL·min ⁻¹ ·kg ⁻¹) | 35.41±4.53 | 33.02±4.33 | 31.51±4.21 | 30.89±5.12 | 0.000 |
| 无氧阈占百分比 (%) | 60.61±7.96 | 60.80±7.28 | 63.05±7.15 | 64.10±8.40 | 0.067 |
| METS | 10.28±1.39 | 9.61±1.26 | 9.14±1.32 | 8.96±1.50 | 0.000 |
| RER | 1.17±0.04 | 1.18±0.04 | 1.18±0.06 | 1.15±0.05 | 0.022 |
| VE (L/min) | 81.17±12.63 | 78.98±11.07 | 78.09±13.99 | 76.46±14.73 | 0.383 |
| 最大呼吸频率 (次/min) | 34.65±7.68 | 34.97±6.00 | 34.44±6.49 | 34.87±6.74 | 0.976 |
| 最大心率 (次/min) | 166.06±10.86 | 161.53±12.17 | 152.83±12.55 | 150.20±12.90 | 0.000 |
| 心率储备 | 26.00±10.64 | 26.21±12.17 | 30.32±12.67 | 26.66±12.04 | 0.206 |
| O ₂ P _{peak} (mL/bpm) | 15.55±2.21 | 15.03±1.93 | 15.30±2.38 | 15.75±2.96 | 0.424 |

本组资料高性能战斗机飞行员 CPET 采用极量运动方案, 试验负荷运动终止 LOAD 为 (211.96 ± 28.59) Watt, 其负荷运动时间基本控制在 6 ~ 10 min, 符合最佳测试标准^[5], 说明 25 Watt/min 的递增方案适合高性能战斗机飞行员群体适用; RER 为 1.17 ± 0.05 , 表明飞行员基本都已尽力, 而美国心脏协会和美国心脏病医师学院^[9]认为 RER 达到 1.10 以上即可判断极量负荷运动, 同时表明 RER 值不可作为负荷运动终止指标。本研究中高性能战斗机飞行员 CPET 相关指标测得值, 与刘晶等^[10]关于高血压飞行员运动负荷试验研究中测得的 $O_2 P_{peak}$ 、 VO_{2peak}/kg 、 $VO_2/kg@AT$ 、峰值心率等相近。但与有些报道所述正常成年男性的正常值, 特别是 VO_{2peak} 及 VO_{2peak}/kg 有差距^[11-12], 我们主要考虑与试验设备和试验方案差异相关, 其次自行车功率计运动方式所测值要比平板运动所测值低 10% ~ 11%^[13-14], 如 Balke 和 Ware 所述^[15], 飞行员特殊职业环境飞行员特殊需求所致。

数据统计分析显示, 随着年龄增大 CPET 指标呈显著下降 ($P < 0.05$), 包括 VO_{2peak} 、 VO_{2peak}/kg 、METS、峰值 RER、峰值心率、LOAD 等。 VO_{2peak} 跟遗传相关, VO_{2peak}/kg 值 20 岁后以每年 $0.4 \sim 0.5 mL \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ 的速度在递减^[16], 本研究测得值基本符合这条规律, METS 值与 VO_{2peak} 相关, 随之下降可理解。随年龄增大, 机体迷走神经张力增大^[17], 基础心率呈下降趋势, 峰值心率亦随之下降 ($P < 0.05$)。LOAD 具有显著性差异, 笔者认为随着年龄增大心肺功能降低同时, 与肌肉力量、耐力减弱有关^[18]。另一核心指标 $VO_2/kg@AT$ 本研究发现存在下降趋势, 但未有显著性差异 ($P > 0.05$)。

综上所述, 空军高性能战机飞行员运动心肺功能随年龄增大而下降, 运动心肺功能反应的是整体功能状态, 整体功能状态下下降可影响到飞行耐力、飞行作业负荷耐受能力。战机作为“人-机-环”中的中间环节, 应避免出现“人的因素”造成战斗力削弱, 虽然飞行经验可以弥补一部分整体机能下降之不足, 但作为航卫保障者, 尽快研究如何科学减缓飞行员随年龄增大整体功能状态下下降速度问题, 从生理因素层面处理好飞行耐力与抗荷能力的关系, 本研究所得数据可做参考。

【参考文献】

- [1] Mcfroy PA, Janicki JS, Weber KT. Cardiopulmonary exercise testing in congestive heart failure[J]. *Am J Cardiol*, 1988, 62:35A-40A.
- [2] 陈伟伟, 高润霖, 刘力生, 等.《中国心血管病报告 2016》概要[J]. *中国循环杂志*, 2017, 32(6):521-530.
- [3] 牟翠萍, 赵敬国, 李焕玲, 等. 中国乒乓球听障奥运队员运动心肺功能的评定[J]. *运动人体医学*, 2014, 4(36):15-17.
- [4] 莫也, 许自青. 运动员心肺功能训练要点及其运动处方[J]. *运动训练学*, 2019, 9(32):49-50.
- [5] 孙兴国. 心肺运动试验的规范化操作要求和难点-数据分析图示与判读原则[J]. *中国应用生理学杂志*, 2015, 31(4):361-365.
- [6] 孙兴国, 胡大一. 心肺运动试验的实验室和设备要求及其临床实施难点的质量控制[J]. *中华心血管病杂志*, 2014, 42(10):817-821.
- [7] 赵连云, 蔡玉芬, 王惠芬, 等. 运动负荷气体交换法评价心肺功能的研究及临床应用[J]. *天津医药*, 1989, 17(5):274-278.
- [8] 李四维. 心肺运动试验在心脏康复评估中的应用[J]. *中国循环杂志*, 2017, 32(4):331-333.
- [9] Balady GJ, Arena R, Sietsema K, et al. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association[J]. *Circulation*, 2010, 122(2):191-225.
- [10] 刘晶, 王露今, 刘玉华, 等. 高血压飞行员运动负荷试验研究[J]. *中华航空航天医学杂志*, 2015, 26(1):38-41.
- [11] 姚亚娟, 温丽华, 朱琳. 关于评定心肺耐力指标的探讨研究[J]. *运动人体医学*, 2017, 7(19):10-13.
- [12] 钟海波, 汪得喜, 邓哲彤, 等. 运动心肺功能检测体会[J]. *广东医学院学报*, 2001, 17(3):223-225.
- [13] 黄思贤, 谭新洪. 心肺运动试验的临床应用[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2007:111-155.
- [14] 宁亮, 孙兴国. 心肺运动试验在医学领域的临床运用[J]. *中国全科医学*, 2013, 16(11C):3898-3902.
- [15] 孙兴国. 心肺运动试验的原理和解读—病理生理及临床运用[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2018:141-160.
- [16] Okamoto T. Combined aerobic and resistance training and vascular function: effect of aerobic exercise before and after resistance training[J]. *J Appl Physiol*, 2007, 103:1655-1661.
- [17] 王璐, 朱莉, 李佳丽. 24 周运动干预对男性老年人心肺功能影响的研究[J]. *辽宁体育科技*, 2018, 40(5):79-83.
- [18] 李爱君, 高瑞尧, 郑琦玮, 等. 提高老年人肌肉力量和心肺功能的运动处方研究进展[J]. *中国康复理论与实践*, 2017, 23(2):179-184.

(收稿日期:2020-07-22; 修回日期:2020-08-25)

(责任编辑:刘玉巧)