

# 平原移居高原战士运动后心肌酶和心室功能的变化及高压氧预处理的干预作用

冯恩志 戴胜归 石 路 李洋洋 张延猛 贺 巍 江 西 徐海峰 更松多杰

**摘 要** **目的** 探讨高原缺氧对平原移居高原战士运动后心功能的影响及高压氧(hyperbaric oxygen, HBO)预处理的干预作用。**方法** 6 名健康成年战士,从平原移居到 3800m 高原生活 0.5~2.0 年,分别检测对照组、HBO 5 天组和 HBO 7 天组安静和负荷后的心功能指标:心肌做功指数(Tei index)、左心室射血分数(LVEF)、血清肌酸激酶同工酶-MB(CK-MB)和心肌肌钙蛋白 I(cTnI)。体力负荷:节拍器控制的 5min 蹬阶运动,频率 25 次/分,台阶高 30cm,负荷强度 650(kg·m)/min,为中等强度的体力负荷。**结果** HBO 预处理 7 天安静时的 Tei 指数较对照组明显降低,差异有统计学意义( $P < 0.05$ );HBO 预处理 5 天、7 天运动后的 Tei 指数较对照组均明显降低,LVEF 较对照组均明显升高,差异均有统计学意义( $P$  均  $< 0.01$ );HBO 预处理 5 天、7 天运动后的血清 CK-MB、cTnI 水平较预处理前的对照组均明显降低,差异均有统计学意义( $P$  均  $< 0.01$ )。**结论** 平原移居高原人在中等强度体力负荷后出现心功能下降现象,HBO 预处理可明显减轻运动后心肌损伤从而增强心功能。

**关键词** 高压氧 心功能 高原 体力负荷

**中图分类号** R58

**文献标识码** A

**DOI** 10.11969/j.issn.1673-548X.2017.09.019

**Changes of Myocardial Enzyme and Cardiac Function after Load Exercise in Soldiers Immigrated from Plain to Plateau and Intervention Effects of Hyperbaric Oxygen Pretreatment.** Feng Enzhi, Dai Shenggui, Shi Lu, et al. Department of Respiratory Medicine, The Fourth Hospital of Lanzhou Military Command PLA, Qinghai 810000, China

**Abstract Objective** To investigate the changes of myocardial enzyme and cardiac function in soldiers after load exercise from plain to plateau and intervention effects of hyperbaric oxygen(HBO) pretreatment. **Methods** Six healthy male soldiers lived at 3800m high altitude for 0.5 to 2.0 years. The Tei index, left ventricular ejection fraction(LVEF), serum creatine kinase isoenzymes-MB(CK-MB) and cardiac troponin I(cTnI) were determined pre-exercise and post-exercise among control group, HBO 5days group and HBO 7days group. **Results** After 7days HBO pretreatment, the Tei index were significantly decreased compared with the control value ( $P < 0.05$ ). After 5days and 7days HBO pretreatment, the Tei index was significantly decreased and the LVET increased after load exercise compared with quiescent condition (both  $P < 0.01$ ). After 5days and 7days HBO pretreatment, the serum CK-MB and cTnI were significantly decreased after exercise compared with the control group (both  $P < 0.01$ ). **Conclusion** Myocardial damage and cardiac function reduction were marked on condition of medium intensity exercise in plateau soldiers. HBO intervention can abate postexercise myocardial damage and enhance cardiac function.

**Key words** Hyperbaric oxygen; Cardiac function; Myocardial enzyme; Exercise; High altitude

高海拔面积广、平均海拔高、常住人口众多是我国西线边陲的突出特点,高原地区具有重要的国防战略意义。高海拔缺氧、低温等特殊的恶劣环境对高原

人的生存质量和作业效率有严重的制约和影响<sup>[1-3]</sup>。

高压氧(hyperbaric oxygen, HBO)作为一种手段用于改善机体急、慢性缺氧已在国内外得到广泛应用<sup>[4]</sup>。但在高原现场研究 HBO 预处理对人体负荷运动后心功能的影响少见报道。本研究通过检测高原 HBO 预处理前后人体心肌酶和心功能指标的变化,探讨 HBO 预处理对平原移居高原战士心功能的干预作用,为临床应用提供理论依据。

## 对象与方法

1. 对象:经玉树州人民医院伦理委员会批准,选择 6 名成年高原战士参加本实验,年龄均为 19 岁,平

基金项目:中国人民解放军总装备部装备技术基础项目(YXSJD20121BZ01)

作者单位:810000 西宁,中国人民解放军第四医院兰州军区呼吸内科中心(冯恩志、戴胜归、贺巍);200231 上海交通大学海洋水下工程科学研究院(石路、张延猛);,200240 上海交通大学-千叶大学国际合作研究中心(石路);200231 上海交大海洋水下工程科学研究院有限公司(李洋洋);815000 玉树州人民医院(江西、徐海峰、更松多杰)

通讯作者:石路,电子信箱:shilu@sjtu.edu.cn

均身高 174.7cm, 平均体重 60.2kg, 体检全部合格。高原工作生活时间为 0.5~2.0 年。受试对象每天保证 8h 睡眠且不从事重体力劳动, 不服用刺激性饮料及药物。

2. 方法: (1) 实验步骤: HBO 预处理共 7 天, 分别在 HBO 预处理前及预处理 5 天和 7 天后检测体力负荷前、后能量心功能指标; (2) 舱室及加减压方案: 烟台宏远氧业有限公司 2010 年 9 月产 GY2200 高压氧舱, 总容积 21cm<sup>3</sup>, 满员治疗人数 6 人, 工作最高压力 0.2MPa。实验期间舱室温度控制在 18~25℃, 相对湿度 60%~80%。HBO 预处理方案: 20min 舱内压力升高至 2ATA; 面罩吸氧 35min, 休息 10min, 继续面罩吸氧 35min 后开始减压, 10min 减压至 1ATA, 停留 5min, 5min 减压至居住高度, 加减压完成共计 120min (图 1)。(3) 体力负荷方法: 研究对象在 HBO 处理前、预处理 5 天和 7 天后进行 5min 蹬阶运动, 频率 25 次/分, 台阶高 30cm, 负荷强度 650 (kg·m)/min, 为中等强度的体力负荷。

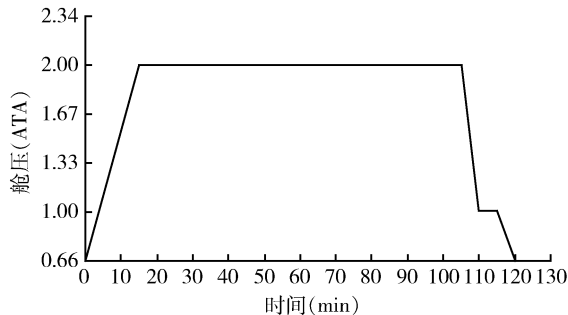


图 1 HBO 预处理加减压方案

3. 指标测定及方法: (1) 心肌做功指数 (Tei 指数): 采用 Philips IU-22 型多普勒超声心动图仪, 通过计算心动周期中二尖瓣时间间期 A 线和主动脉射血时间 B 线。根据心肌做功指数 (Tei 指数) = (A - B/B) 的公式计算出 Tei 指数。(2) LVET 的计算: 采用 Simpson 法计算受试对象的左心室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF)<sup>[4]</sup>。(3) 血清心肌

酶测定: 采集受试对象安静及运动后 30min 后的静脉血 3ml, 3500r/min, 4℃ 离心 10min, 分离血清, -20℃ 冻存。采用免疫荧光法测定血清肌酸激酶同工酶 (CK - MB), 采用化学发光法测定心肌肌钙蛋白 I (cTnI) 浓度。

4. 统计学方法: 采用 SPSS 17.0 统计学软件进行统计分析, 计量资料用均数 ± 标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示, HBO 预处理前后不同时间比较采用重复测量方差分析, 两两比较采用 *t* 检验, 以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结 果

1. 心肌做功指数 (Tei 指数): HBO 预处理 7 天后安静时的 Tei 指数较对照值明显降低, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); HBO 预处理 5 天、7 天运动后的 Tei 指数均较对照组明显降低, 差异有统计学意义 ( $P$  均  $< 0.01$ ), 说明 HBO 预处理可以有效降低高原人安静和体力负荷后的 Tei 指数 (表 1)。

2. 左心室射血分数 (LVET): HBO 预处理 5 天、7 天后安静时的 LVET 与对照组比较, 差异无统计学意义 ( $P$  均  $> 0.05$ ); HBO 预处理 5 天、7 天运动后的 LVET 均较对照组显著升高, 差异有统计学意义 ( $P$  均  $< 0.01$ ), 说明 HBO 预处理可以提高高原人体力负荷时的心肌收缩能力, 使运动时的左心室射血分数增加 (表 1)。

3. 肌酸激酶同工酶 (CK - MB): HBO 预处理 5 天、7 天后安静时的 CK - MB 含量与对照组比较, 差异无统计学意义 ( $P$  均  $> 0.05$ ); HBO 预处理 5 天、7 天运动后的人体 CK - MB 均较对照组明显降低, 差异有统计学意义 ( $P$  均  $< 0.01$ , 表 1)。

4. 心肌肌钙蛋白 I (cTnI): HBO 预处理 5 天、7 天后安静时的 cTnI 含量与对照组比较, 差异无统计学意义 ( $P$  均  $> 0.05$ ); HBO 预处理 5 天、7 天运动后的 cTnI 均较对照组明显降低, 差异有统计学意义 ( $P$  均  $< 0.01$ , 表 1)。

表 1 HBO 预处理对高原战士运动前后心功能指标的影响 ( $n = 6, \bar{x} \pm s$ )

| 状态  | 组别       | Tei 指数         | LVEF (%)        | CK - MB (ng/ml) | cTnI (ng/ml)   |
|-----|----------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 安静  | 对照组      | 0.35 ± 0.02    | 64.15 ± 2.16    | 4.66 ± 0.28     | 0.28 ± 0.01    |
|     | HBO 5 天组 | 0.30 ± 0.04    | 62.18 ± 2.62    | 4.44 ± 0.31     | 0.30 ± 0.02    |
|     | HBO 7 天组 | 0.31 ± 0.01 *  | 61.72 ± 2.01    | 4.48 ± 0.31     | 0.28 ± 0.03    |
| 运动后 | 对照组      | 0.46 ± 0.02    | 54.61 ± 2.34    | 6.39 ± 0.45     | 0.41 ± 0.02    |
|     | HBO 5 天组 | 0.37 ± 0.01 ** | 68.55 ± 1.46 ** | 5.49 ± 0.30 **  | 0.34 ± 0.02 ** |
|     | HBO 7 天组 | 0.34 ± 0.01 ** | 70.20 ± 1.58 ** | 4.98 ± 0.21 **  | 0.32 ± 0.02 ** |

与同状态下对照组比较 \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$

## 讨 论

高原最突出的特征是低氧,平原人移居到高原低氧环境初期的主要生理变化是心率上升、肺通气量增大、血压升以及运动后心功能降低等症状<sup>[5,6]</sup>。高原习服一段时间后,心率逐渐回落,心功能有所改善,人体作业能力逐渐提高并能达到相对稳定水平。但即使久居高原的人对低氧环境已产生习服,但缺氧状态却一直存在,血氧饱和度远低于平原人,尤其在运动后极易出现疲劳、呼吸困难、胸闷、头痛、头晕等症状,从而导致高原劳动能力降低。一般认为,高原劳动比平原高 1.0~1.5 个劳动强度等级。人在高原的作业能力降低,严重影响高原工作效率。以往研究表明高原作业能力降低可能与最大运动时的最大心率和心排出量等有关<sup>[7]</sup>。

Tei 指数不受限于心室几何形态、心肌负荷及血压、瓣膜反流等因素,可与其他有创及无创性指标对心室功能进行很好的相关性分析,日渐成为一种比较普遍的心功能评价指标<sup>[8,9]</sup>。LVEF 值能客观反映机体的左心室射血功能已得到公认。CK-MB 和 cTnI 则是心肌细胞损伤程度重要标志物<sup>[10,11]</sup>。有研究提示 HBO 能明显降低模拟高海拔缺氧状态下机体的肺水肿损伤症状<sup>[12]</sup>。因为 HBO 可提高机体在缺氧时的血氧分压和动脉血氧饱和度,使血液中物理溶解及组织细胞中的氧含量显著增高,从而纠正机体在不同环境下的缺氧状态,从而达到抗缺氧的目的<sup>[13]</sup>。

本研究结果显示,对照组运动后的血清 CK-MB、cTnI、Tei 指数较安静状态明显增高,LVEF 显著降低,提示久居高原战士虽然已习服高原低氧环境,但在中等强度体力劳动时仍存在心肌缺氧性损伤及心功能降低的状态。其可能原因是体力负荷加重了高原缺氧,氧化磷酸化受阻导致心肌对葡萄糖和脂质的有氧氧化能力减弱,从而使得心肌有氧代谢能力降低而无氧糖酵解增强;心肌无氧酵解产生能量及高能磷酸化合物(ATP)减少,心肌供能不足,从而导致心肌损伤和心功能降低。本结果研究还显示,HBO 预处理 5 天和 7 天后,机体运动后的血清 CK-MB、cTnI 及 Tei 指数均较对照组运动后明显降低,LVEF 则显著升高,这表明 HBO 预处理能明显减轻高原低氧环境下体力作业时因缺氧造成的心肌损伤并有效提高心脏射血能力,从而使高原缺氧劳动时的心功能增强。可能机制是 HBO 提高了全身及心肌供氧,使高原人劳动时的心脏缺氧得到纠正,心功能逐渐恢复到富氧的平原水平,从而产生心率减慢、心脏舒张期延

长、心排出量增加、心肌氧耗量及代谢率减少等有利于提高高原劳动能力的变化,这对平原移居高原人运动能力或者作业效率的提高起到十分重要的作用。

综上所述,久居高海拔地区的人们经中等强度体力负荷后明显存在心肌损伤及心功能降低的现象,HBO 预处理可明显减轻高原缺氧运动后心肌损伤及增强心功能,从而提高高原人劳动能力。

## 参考文献

- Bianba B, Yangzong Y, Gonggalanzi G, *et al.* Anthropometric measures of 9 - to 10 - year - old native Tibetan Children living at 3700 and 4300m above sea level and han Chinese living at 3700m [J]. *Medicine: (Baltimore)*, 2015, 94(42):e1516
- Nussbaumer - Ochsner Y, Schuepfer N, Ursprung J, *et al.* Sleep and breathing in high altitude pulmonary edema susceptible subjects at 4, 559 meters [J]. *Sleep*, 2012, 35(10):1413 - 1421
- Bianba, Berntsen S, Andersen LB, *et al.* Exercise capacity and selected physiological factors by ancestry and residential altitude: cross - sectional studies of 9 - 10 - Year - Old Children in tibet. [J]. *High Alt Med Biol*, 2014, 15(2):162 - 169
- Davis BR, Simpson LM, Ford CE, *et al.* Response to letter regarding article, "heart failure with preserved and reduced left ventricular ejection fraction in the antihypertensive and lipid - lowering treatment to prevent heart attack trial" [J]. *Circulation*, 2009, 120(5):e31 - e32
- Pichon A, Zhenzhong B, Marchant D, *et al.* Cardiac adaptation to high altitude in the plateau pika (*Ochotona curzoniae*) [J]. *Physiol Rep*, 2013, 1(2):e00032 - e00032
- Bilo G, Revera M, Bussotti M, *et al.* Effects of slow deep breathing at high altitude on oxygen saturation, pulmonary and systemic hemodynamics. [J]. *PLoS One*, 2012, 7(11):5225 - 5235
- Simonson TS, Wei G, Wagner HE, *et al.* Low haemoglobin concentration in Tibetan males is associated with greater high - altitude exercise capacity [J]. *J Physiol*, 2015, 593(14):3207 - 3218
- Bruch C, Schmermund A, Marin D, *et al.* Tei - index in patients with mild - to - moderate congestive heart failure. [J]. *Eur Heart J*, 2000, 21(22):1888 - 1895
- Ogunmola OJ, Akintomide AO, Olamoyegun AM. Relationship between clinically assessed heart failure severity and the Tei index in Nigerian patients [J]. *BMC Res Notes*, 2013, 26(6):488
- Opfermann UT, Peivandi AA, Dahm M, *et al.* Postoperative patterns and kinetics of cTnI, cTnT, CK - MB - activity and CK - activity after elective aortic valve replacement. [J]. *Swiss Med Wkly*, 2001, 131(37 - 38):550 - 555
- Weber M, Rau M, Madlener K, *et al.* Diagnostic utility of new immunoassays for the cardiac markers cTnI, myoglobin and CK - MB mass [J]. *Clin Biochem*, 2005, 38(11):1027 - 1030
- Li Z, Gao C, Wang Y, *et al.* Reducing pulmonary injury by hyperbaric oxygen preconditioning during simulated high altitude exposure in rats. [J]. *J Trauma*, 2011, 71(3):673 - 679
- Wood SC, Johansen K. Adaptation to hypoxia by increased HbO<sub>2</sub> affinity and decreased red cell ATP concentration. [J]. *Nat New Biol*, 1972, 237(78):278 - 279 (收稿日期:2016 - 10 - 18)

(修回日期:2016 - 10 - 24)