

DOI:10.16781/j.0258-879x.2016.11.1422

高压氧预处理延缓大鼠运动性疲劳

衣洪杰,周慧鹏,王 品,徐伟刚*

第二军医大学海军医学系潜水医学教研室,上海 200433

[摘要] **目的** 观察高压氧预处理对大鼠运动性疲劳的影响。**方法** 将SD大鼠置于加压氧舱进行高压氧(压力250 kPa,氧气浓度 $\geq 99\%$)预处理,以加压氧舱内常压空气通风处理作为对照,预处理后进行负重游泳实验。通过力竭时间及血清和骨骼肌乳酸、丙二醛、超氧化物歧化酶等指标的水平评估高压氧预处理对大鼠运动性疲劳的影响。**结果** 高压氧预处理后大鼠负重游泳力竭时间为(56.13 \pm 16.91) min,较常压空气组[(23.13 \pm 9.85) min]延长($P < 0.01$)。负重游泳20 min时,高压氧预处理组大鼠血清及骨骼肌中乳酸和丙二醛水平均较常压空气组降低($P < 0.01$),超氧化物歧化酶水平均较常压空气组升高($P < 0.01$)。**结论** 高压氧预处理能够显著延缓大鼠运动性疲劳的产生。

[关键词] 运动性疲劳;高压氧;预处理;游泳

[中图分类号] R 872.7 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2016)11-1422-04

Hyperbaric oxygen preconditioning delays exercise-induced fatigue in rats

YI Hong-jie, ZHOU Hui-peng, WANG Pin, XU Wei-gang*

Department of Diving Medicine, Faculty of Naval Medicine, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

[Abstract] **Objective** To investigate the effect of hyperbaric oxygen preconditioning on exercise-induced fatigue in rats. **Methods** SD rats were subjected to loaded swimming after hyperbaric oxygen (250 kPa, $\phi_{\text{O}_2} \geq 99\%$) pretreatment, and rats exposed to normal pressured air were set as air control group. The time to exhaustion and levels of lactic acid (LA), malondialdehyde (MDA) and superoxide dismutase (SOD) in serum and skeletal muscle were observed to assess the effect of hyperbaric oxygen preconditioning on exercise-induced fatigue in rats. **Results** The time to exhaustion in loaded swimming of rats in hyperbaric oxygen pretreatment group was significantly prolonged compared with that in the air control group ([56.13 \pm 16.91] min vs [23.13 \pm 9.85] min, $P < 0.01$). After swimming for 20 min, the LA and MDA levels in the skeletal muscle and serum were significantly lower in the hyperbaric oxygen pretreatment group compared with air control group ($P < 0.01$), while the SOD levels in skeletal muscle and serum were significantly higher compared with air control group ($P < 0.01$). **Conclusion** Hyperbaric oxygen pretreatment can significantly delay the exercise-induced fatigue in rats.

[Key words] exercise-induced fatigue; hyperbaric oxygenation; preconditioning; swimming

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2016, 37(11): 1422-1425]

运动性疲劳(exercise-induced fatigue)是指机体在运动过程中出现的生理功能不能保持在一定水平或不能维持预定的运动强度^[1]。在军事体能训练中,随着对抗强度和训练负荷的不断提高,运动性疲劳的发生也越来越频繁。适度的疲劳可以有效刺激机体并促进运动水平的不断提高,而过度疲劳则明显抑制机体的运动能力,影响训练或任务的完成,还可能造成机体损伤^[2]。

高压氧(hyperbaric oxygen, HBO)处理是指在超过一个大气压的环境中呼吸纯氧,广泛应用于一氧化碳中毒、减压病以及多种临床疾病的治疗。研究发现 HBO 能改善组织的能量代谢,减少体内代谢产物的堆积,促进运动后疲劳状态的恢复^[3]。十余小时甚至更长时间应用 HBO 可明显减轻各类不良因素对机体的损伤^[4]。本研究就 HBO 预处理对大鼠负重游泳后的相关指标进行

[收稿日期] 2016-04-12 **[接受日期]** 2016-08-07

[基金项目] 第二军医大学海军医学系青年教员启动基金。Supported by Initial Fund for Young Teachers of Faculty of Naval Medicine of Second Military Medical University.

[作者简介] 衣洪杰,硕士,助教、住院医师。E-mail: hongjieyi@163.com

*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-81871141, E-mail: wg_hsu@163.com

检测,探讨 HBO 预处理在预防运动性疲劳中的作用。

1 材料和方法

1.1 实验动物 成年无特定病原体(SPF)级健康雄性 SD 大鼠,体质量 230~270 g,由第二军医大学实验动物中心[动物生产许可证号:SCXK(沪)2012-0003]提供。自由饮食,饲养条件符合 GB 14925-2010 实验室有关要求。

1.2 动物处理

1.2.1 分组 实验大鼠按随机数字表法随机分为 3 组:空白对照组、HBO 预处理组、常压空气组。从实验前 3 d 开始,所有大鼠进行适应性游泳训练,每日 1 次,每次 15 min。实验开始时,将 HBO 预处理组大鼠置于动物加压舱(RDC150-300-6 型,第二军医大学)内给予 HBO 暴露 60 min;常压空气组置于动物加压舱内给予常压空气通风预处理 60 min;空白对照组不予暴露处理,也不进行负重游泳实验,仅进行适应训练。

1.2.2 HBO 预处理 将 HBO 组大鼠置于动物加压舱内,采用医用纯氧以 1 000 mL/min 的流量洗舱,到测氧仪(CY-12C 型,浙江新安江分析仪器厂)显示舱内氧浓度达到 99%时开始以 100 kPa/min 速率加压至 250 kPa(绝对压,下同),暴露 60 min,期间以 100 mL/min 氧气流量持续通风,保持舱内氧气浓度 $\geq 99\%$;通过在舱底的钠石灰吸收大鼠呼出的 CO_2 ,舱内温度维持在 23~25℃。暴露结束后 15 min 匀速减至常压出舱。每只大鼠予以 HBO 预处理 1 次。

1.2.3 负重游泳实验 自制 60 cm \times 60 cm \times 80 cm 四分玻璃游泳池,水深 60 cm,水温维持在 (30 \pm 1)℃。在大鼠尾部悬吊 8%体质量的砝码,每泳槽每次 1 只。

1.3 指标检测

1.3.1 力竭时间 HBO 预处理组和常压空气组大鼠各 8 只,预处理后 20 h 时进行负重游泳,以大鼠出现肢体不协调运动、身体下沉至鼻尖完全没入水中且时间超过 10 s、连续出现 3 次为力竭标准,记录负重游泳力竭时间^[5]。

1.3.2 生化指标检测 HBO 预处理组和常压空气组大鼠各 16 只,在预处理后 20 h 时进行负重游泳 20 min,剔除期间发生淹溺的大鼠后每组随机取 10 只;空白对照组 10 只。均以 10%水合氯醛 300 mg/kg 腹腔注射麻醉,右心取血 5 mL,4℃ 1 200 $\times g$ 离心 10 min 后取血清分装,-80℃ 保存;取右后肢腓肠肌,用预冷生理盐水冲洗吸干后分装,-80℃ 保存,检测时取 50 mg 在液氮中快速冷冻处理后匀浆。采用试剂盒(上海西唐生物科技有限公司)以对羟基联苯比色法测定乳酸(LA)水平,TBA 比色法测定丙二醛(MDA)水平,双抗体夹心法测定超氧化物歧化酶(SOD)水平。

1.4 统计学处理 应用 SPSS 21.0 软件进行统计学分析。所得数据以 $\bar{x}\pm s$ 表示,力竭时间组间差异比较采用独立样本 t 检验,生化指标组间差异比较采用单因素方差分析。检验水准(α)为 0.05。

2 结果

2.1 HBO 预处理对大鼠力竭时间的影响 HBO 预处理组与常压空气组力竭时间分别为(56.13 \pm 16.91) min、(23.13 \pm 9.85) min,差异有统计学意义($P<0.01$,图 1)。

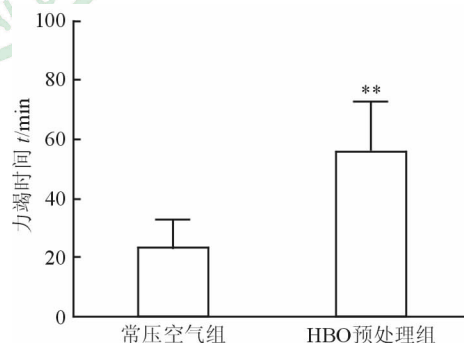


图 1 HBO 预处理对大鼠游泳力竭时间的影响

HBO: 高压氧. ** $P<0.01$ 与常压空气组比较. $n=8$, $\bar{x}\pm s$

2.2 HBO 预处理对大鼠生化指标的影响 与空白对照组比较,常压空气组大鼠负重游泳 20 min 后,血清及骨骼肌中 LA 和 MDA 水平升高,SOD 水平降低,差异有统计学意义($P<0.01$);与常压空气组比较,HBO 预处理组负重游泳 20 min 后,LA 和 MDA 水平降低,SOD 水平升高,差异有统计学意义($P<0.01$)。见图 2。

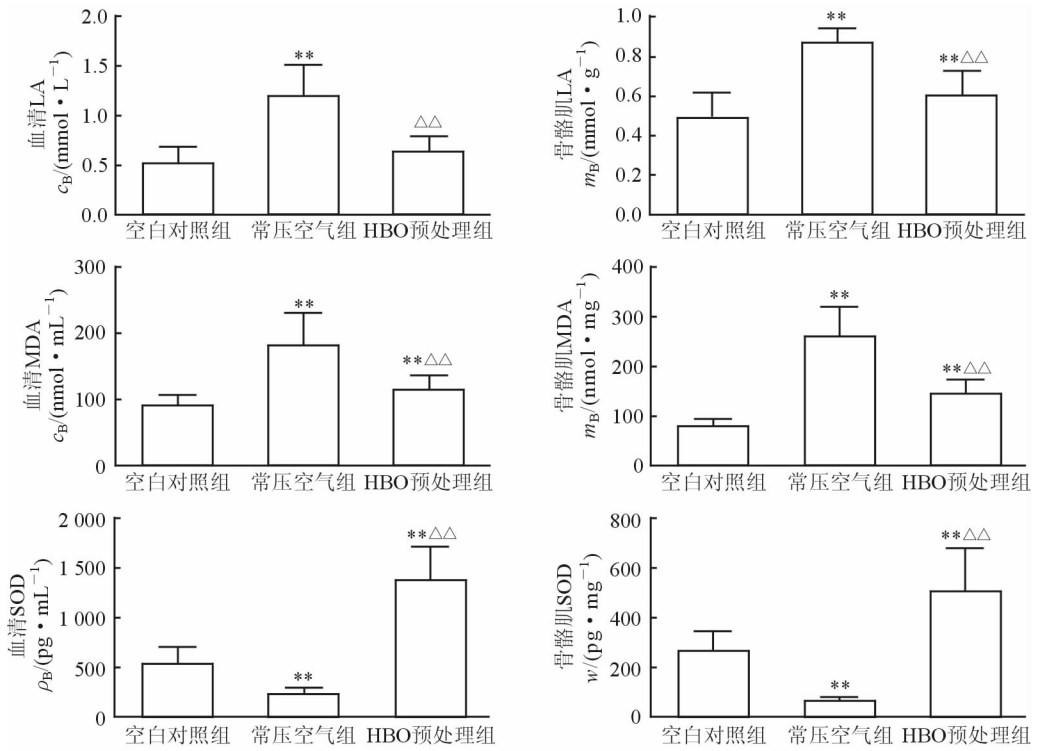


图2 HBO预处理对负重游泳大鼠血清和骨骼肌LA、MDA、SOD的影响

HBO: 高压氧; LA: 乳酸; MDA: 丙二醛; SOD: 超氧化物歧化酶. ** P<0.01与空白对照组比较; △△ P<0.01与常压空气组比较. n=10, $\bar{x} \pm s$

3 讨论

运动性疲劳的发生有不同机制,其中,LA堆积扮演着重要作用。正常状态下骨骼肌内的部分LA分解为乳酸根阴离子和H⁺,大量LA堆积时可以使解离状态的H⁺大量增多,使机体内原本呈弱碱性的体液酸化,通过与Ca²⁺竞争降低能量代谢中肌酸激酶、磷酸果糖激酶等多种酶的活性,影响骨骼肌能量代谢,导致机体运动能力下降^[6]。另外,过多的LA可以释放大量H⁺刺激肌肉组织内的痛觉感受器导致肌肉酸痛^[7]。体内的LA水平大致可以反映机体运动性疲劳的程度,是疲劳评价中常用的生化指标之一^[8]。本实验室前期研究发现,HBO预处理可以明显提高小鼠的运动耐力,提高机体对氧的利用,减少肌肉组织内无氧酵解,抑制运动后血LA水平的升高^[9]。本实验也发现大鼠负重游泳20 min时体内LA大量堆积,而HBO预处理则可显著改善这一状态,但其具体作用机制尚需进一步研究。

由于剧烈运动会致组织(特别是骨骼肌)相对缺氧,因此运动性疲劳可能存在着类似于缺血缺氧

损伤的机制,在缺血缺氧的情况下,机体会大量产生自由基,因此氧化应激也可能是产生运动性疲劳的另一个重要原因^[10-11]。MDA是体内自由基反应的最终产物,其含量可以间接反映体内脂质过氧化速度和强度,常作为运动时体内脂质过氧化程度的检测指标^[8,10]。而SOD是一种公认的在机体内能够清除自由基的强抗氧化剂。本实验发现大鼠负重游泳后血清和骨骼肌中的MDA水平升高、SOD减少,而HBO预处理后两项指标均明显改善,说明HBO预处理可平衡大鼠体内氧化应激情况,提高大鼠对运动性疲劳的耐受。

HBO预处理除能显著改善上述关键指标外,最直接有效的体现是延长了大鼠负重游泳时间。其机制除了诱导SOD表达外,还可能与HBO诱导包括热休克蛋白在内的多种保护性蛋白有关。我们前期研究证实,HBO暴露能有效诱导大鼠或离体细胞中热休克蛋白的表达,并在暴露后18~20 h时达到高峰,同时发挥了对抗各类损伤的效应^[12]。本实验在处理时间上与其具有一致性,推测热休克蛋白可能也在HBO抗运动性疲劳的过程中发挥作用,但仍

需进一步研究验证。

与其他预防性处理措施(如药物或缺氧训练)相比,HBO 暴露没有不良反应及明显不便,不会对机体造成潜在的不利影响,反复使用也不存在成瘾、蓄积等现象。同时,我国拥有世界上数量最多的 HBO 治疗舱,遍布国内各大中型医疗机构。这种预处理措施的易实现性以及可预见性(即何时进行高强度训练或作业多有计划),能够很容易应用于实践中,对减轻由高强度训练所产生的疲劳、增强耐力、提高官兵作业能力和运动员的运动成绩均有着非常重要的实用价值。

[参考文献]

- [1] AMENT W, VERKERKE G J. Exercise and fatigue [J]. *Sports Med*, 2009, 39: 389-422.
- [2] 曲绵域,于长隆.实用运动医学[M].4版.北京:北京大学医学出版社,2003:36-39.
- [3] 陶恒沂,张红星,陶凯中,徐伟刚,郭明珠,钱炳龙,等.高压氧对长跑运动员急性疲劳恢复过程的影响[J].*中国运动医学杂志*,2003,22:14-17.
- [4] GU G J, LI Y P, PENG Z Y, XU J J, KANG Z M, XU W G, et al. Mechanism of ischemic tolerance induced by hyperbaric oxygen preconditioning involves upregulation of hypoxia-inducible factor-1alpha and erythropoietin in rats [J]. *J Appl Physiol* (1985), 2008, 104: 1185-1191.
- [5] 杨道宁,李 丽.运动性疲劳动物模型制备的研究进展 [J].*沈阳体育学院学报*,2011,3:84-89.
- [6] BROOKS G A, HASHIMOTO T. Investigation of the lactate shuttle in skeletal muscle mitochondria [J]. *J Physiol*, 2007, 584(Pt 2): 705-708.
- [7] 张 翔.乳酸堆积与骨骼肌疲劳研究评述[J].*山西师大体育学院学报*,2010,25:120-122.
- [8] YANG Q, JIN W, LÜ X, DAI P, AO Y, WU M, et al. Effects of macamides on endurance capacity and anti-fatigue property in prolonged swimming mice [J]. *Pharm Biol*, 2016, 54: 827-834.
- [9] 彭兆云,杜 晶,孙学军,陈箫莹,刘 昀,练庆林,等.高压氧预处理对小鼠运动耐力的影响[J].*第二军医大学学报*,2006,27:62-64.
- PENG Z Y, DU J, SUN X J, CHEN X Y, LIU Y, LIAN Q L, et al. Effects of hyperbaric oxygen preconditioning on physical stamina in mice [J]. *Acad J Sec Mil Med Univ*, 2006, 27: 62-64.
- [10] GRAVIER G, STEINBERG J G, LEJEUNE P J, DELLIAUX S, GUIEU R, JAMMES Y. Exercise-induced oxidative stress influences the motor control during maximal incremental cycling exercise in healthy humans [J]. *Respir Physiol Neurobiol*, 2013, 186: 265-272.
- [11] GOLDFARB A H. Nutritional antioxidants as therapeutic and preventive modalities in exercise-induced muscle damage [J]. *Can J Appl Physiol*, 1999, 24: 249-266.
- [12] 贺 磊,金百翰,倪啸晓,刘吉元,王方辉,徐伟刚.高压氧预处理通过热休克蛋白 70 降低大鼠减压病患病情况观察[J].*中国职业医学*,2012,39:150-152.

[本文编辑] 孙 岩