

模拟高住低练对男大学生红细胞 抗氧化能力及有氧运动能力的影响

云大川¹, 胡永欣²

(1. 华南师范大学 体育科学学院, 广东 广州 510631; 2. 广东教育学院 体育系, 广东 广州 510030)

摘 要: 为了观察模拟高住低练对人体红细胞中丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的影响, 及在模拟高原训练后有氧运动能力是否提高。将男大学生13名随机分成对照组和模拟高住低练组, 从事相同身体活动, 模拟高住低练组每天低氧环境睡眠8 h [$\varphi(O_2) = 14\%$], 连续4周。两组均在低氧训练开始前、结束后进行 Bruce 方案的力竭运动, 并在安静和运动后取血测试 MDA、SOD、GSH-Px。结果表明: 高住低练组红细胞 SOD、GSH-Px 活性在安静时和力竭运动后都明显提高, MDA 没有变化, 定量负荷后心率和血乳酸降低。结论: 模拟高住低练有助于增强红细胞抗氧化能力, 改善有氧运动能力。

关键词: 模拟高住低练; 红细胞; 超氧化物歧化酶; 谷胱甘肽过氧化物酶; 丙二醛
中图分类号: C804.2 文献标识码: A 文章编号: 1006-7116(2005)04-0053-03

The effect of simulated HiLo training on the ability of erythrocyte to resist oxidation and on aerobic sports capacity in respect to male college students

YUN Da-chuan¹, HU Yong-xin²

(1. College of Physical Education, South China Normal University, Guanzhou 510631, China;
2. Department of Physical Education, Guangdong Education College, Guanzhou 510030, China)

Abstract: Objective: To observe the effect of simulated HiLo training (living high and training low) on MDA, SOD and GSH-Px in erythrocyte of a human body, and to find out whether aerobic sports capacity is enhanced. Method: 13 male college students were randomly divided into a control group and a simulated HiLo training group, and both groups engaged in the same physical activities; the simulated HiLo training group slept 8 hours a day under hypoxia environment [$\varphi(O_2) = 14\%$] for 4 weeks consecutively; both groups carried out an exhaustion exercise in Bruce program before and after hypoxia training, and were blood drawn for MDA, SOD and GSH-Px tests at calm and after the exercise. Results: In respect to the simulated HiLo training group, the activities of SOD and GSH-Px in erythrocyte at calm and after the exhaustion exercise were obviously enhanced, while MDA remained unchanged, and the heart rate and lactic acid level after rationed load were lowered. Conclusion: The simulated HiLo training group is conducive to enhancing the ability of erythrocyte to resist oxidation, as well as enhancing and improving aerobic sports capacity.

Key words: simulated HiLo training (living high and training low); erythrocyte; SOD; GSH-Px; MDA

1991年 Levine 提出高住低练法(HiLo), 这为解决传统高原训练法引起的不足, 提供了更科学的训练方法。随之人们对模拟高原训练的方法和研究广泛开展。关于高原训练对机体自由基代谢和抗氧化酶的影响的研究中, 模拟高住低练对人体红细胞自由基代谢的影响并未见有报道。而关于高原训练是否提高运动能力的报道结果也并不一致。本文试图通过观察模拟高住低练, [$\varphi(O_2) = 14\%$, 相当于高原 3 000 m], 对人体红细胞中自由基代谢的影响, 探讨模拟高住低练后对抗氧化能力影响, 及低氧后身体的机能的变化对有氧运

动能力的影响。

1 对象与方法

1.1 实验对象

体育系田径专业男大学生 13 名, 身体健康, 随机分成两组。对照组(C) 8 人, 年龄(21.8 ± 0.83)岁, 身高(172.5 ± 5.01)cm, 体重(66.5 ± 7.68)kg; 模拟高住低练组(H) 5 人, 年龄(21.0 ± 0.7)岁, 身高(170.4 ± 0.9)cm, 体重(62.8 ± 4.9)kg。

收稿日期: 2005-03-03

作者简介: 云大川(1974-), 男, 讲师, 研究方向: 体育教学与训练。

1.2 实验方法

两组受试者在相同的生活环境,从事相同的技术、理论课的学习。H组在每晚 10:00 至翌日清晨 6:00 进行 8 h 的模拟高原环境睡眠,每周 6 d,连续 4 周。在低氧刺激过程中监测受试者心率、体温、呼吸、血压、血氧饱和度等指标,如出现异常,由监护医生和护士及时处理并观察。两组分别在低氧训练实验开始前 1 d、低氧训练结束后 1 d 在 Quinton Q55 跑台上采用 Bruce 方案进行递增负荷运动至力竭,并在安静状态、力竭运动后即刻分别取静脉血 4 mL,测定红细胞超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、丙二醛(MDA)、血乳酸。用南京建成生物工程公司试剂盒按照操作说明测定 SOD、GSH-Px、MDA 指标;用美国 SENSORMEDICS 2900 气体代谢分析仪测最大吸氧量;芬兰产 PE500 遥测心率仪监测心率;美国产 ISY-1500 全血乳酸分析仪测试血乳酸。实验前后采用活动跑台进行定量负荷运动,运动强度为本人最大吸氧量的 70%,运动时间 9 min,并测定受试者心率

和运动后血乳酸。

1.3 统计处理

实验数据采用 SPSS10.0 统计软件进行处理,所有数据结果用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)来表示;组间采用 Independent-Samples T Test,组内采用 Paired Samples T Test 分析,显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 实验结果

2.1 红细胞中 MDA、SOD、GSH-Px 的变化

由表 1 可见:不论 4 周前后,受试者在完成递增负荷力竭运动后,MDA 生成均显著性增加($P < 0.05$);SOD 活性无明显变化,且有下降趋势;GSH-Px 活性显著性升高($P < 0.05$)。4 周低氧训练后,低氧组分别与对照组和自身 4 周前比较 MDA 的生成无显著性变化;SOD 活性、GSH-Px 活性均有显著提高,分别与 4 周前安静时和力竭运动后比较有显著性($P < 0.05$)。

表 1 低氧训练前、后受试者红细胞各氧化参数指标的变化

训练 前后	组别	n/人	c(MDA)/(nmol·mL ⁻¹)		SOD 活性/(nU·g ⁻¹)		GSH-Px 活性/(nU·g ⁻¹)	
			安静	运动后即刻	安静	运动后即刻	安静	运动后即刻
前	C 组	8	16.9±1.5	18.7±1.6 ¹⁾	17 383.8±1 895.7 ¹⁾	15 726.6±2 879.2	72.8±14.5	102.2±20.2 ¹⁾
	H 组	5	17.6±1.8	19.7±2.1 ¹⁾	16 932.58±1 203.0	14 602.6±2 123.5	70.7±6.2	96.85±10.5 ¹⁾
后	C 组	8	17.6±2.1	20.2±2.4 ¹⁾	17 475.8±1 342.7	16 034.3±2 801.9	73.3±13.6	104.2±19.9 ¹⁾
	H 组	5	16.1±1.9	20.0±1.9 ¹⁾	19 013.8±2 013.2 ²⁾	18 086.3±2 651.2 ²⁾	79.3±5.0 ²⁾	107.1±10.3 ¹⁾³⁾

1)运动前后比较, $P < 0.05$;2)与 4 周前安静比较 $P < 0.05$;3)与 4 周前运动后比较, $P < 0.05$

2.2 运动能力指标

表 2、3 显示:实验前,两组受试者 VO_{2max} 、运动后心率、血乳酸组间没有差异;经过 4 周低氧刺激,模拟高住低练组力

竭运动后血乳酸比 4 周前水平明显提高($P < 0.05$),心率和最大吸氧量没有明显变化;而定量负荷运动后,心率和血乳酸有显著降低($P < 0.05$)。

表 2 实验前后运动能力指标的变化

组别	n/人	心率/(次·min ⁻¹)		c(血乳酸)/(mmol·L ⁻¹)		VO_{2max} /(mL·min ⁻¹)	
		pre	post	pre	post	pre	post
C 组	8	189±8	189±8	16.4±2.7	17.1±4.0	4 313.9±532	4 403.9±522
H 组	5	194±5	196±4 ²⁾	16.3±3.1	18.8±3.3 ¹⁾	4 033.6±357	4 302.0±182

1)与 4 周前进行自身对照有显著性差异, $P < 0.05$;2)与对照组比较有显著性差异, $P < 0.05$

表 3 定量负荷运动时心率和血乳酸的变化

组别	n/人	心率/(次·min ⁻¹)		c(血乳酸)/(mmol·L ⁻¹)	
		pre	post	pre	post
C 组	8	187±4	187±3	14.2±2.2	14.5±2.6
H 组	5	193±3	185±5 ¹⁾	13.1±4.3	11.5±3.5 ¹⁾

1)与 4 周前进行自身对照有显著性差异, $P < 0.05$

3 讨论

不同的运动强度、运动时间会引起不同组织自由基和抗氧化系统不同程度的反应^[1],辛东等人^[2,3]报道,观察在跑台上进行递增负荷至力竭的大鼠,大鼠脑组织中氧自由基信号强度(OFR)、MDA 在运动后即刻有升高趋势;SOD 活性在

运动后即刻没有明显变化,而在运动后 2 h 显著性升高;而大鼠血浆中的 OFR、MDA 在运动后均到达显著性增高。张蕴琨^[4]研究发现,力竭游泳运动后,小鼠肝、肌组织 SOD 水平下降,而脑组织 SOD 活性增高,各组织变化不同,肌组织中自由基生成增多。本实验采用 Bruce 方案递增负荷运动至力竭,运动后即刻自由基显著增多,SOD 酶变化不明显,GSH-Px 酶显著升高,这可能与采用的运动方式,不同受试者对运动的敏感程度以及身体状况有关,在张爱芳^[5]对足球运动员进行递增负荷运动方式至力竭的运动对机体抗氧化能力影响的有关报道中,可看到类似的结果。MDA 的显著升高提示自由基生成的增多加强了脂质过氧化反应,可能会引起红细胞氧化损伤,导致红细胞结构异常,功能下降,结果会直接影响组织供氧量而使运动能力下降^[6]。红细胞中

SOD、GSH-Px 是重要的抗氧化酶,分解脂质过氧化物,保护机体免受氧化应激损伤。

经过4周的模拟高住低练后,再次进行 Bruce 递增负荷的力竭运动,实验结果发现红细胞的抗氧化能力得到明显提高。运动导致氧自由基生成增多,低氧刺激会加剧氧化应激,进一步加剧电子漏和黄嘌呤氧化酶机制引起的自由基生成。低氧条件下, H_2O_2 和 OH^- 生成增多,在3000 m 高原训练,取安静时测试,发现氧化产物 MDA、BP(呼吸气中戊烷)、LPO 等增多^[7]。Alina 等人研究皮划艇运动员在2000 m 高原上训练,分别在平原、刚上高原及高原第4、10、18 d 对红细胞自由基代谢进行了观察,发现低氧环境会使自由基生成明显增多,第10 d 开始有所回降,但仍明显高于平原时水平;同时红细胞内 SOD 在刚上高原有所降低,适应后显著上升;而 CAT 活性显著升高,适应后有所降低,至第18 d 仍明显高于平原时水平^[8]。而 Nevin^[9]却发现上高原后,第1、7 d 红细胞中丙二醛生成都显著减少,SOD 活性明显升高。本实验通过4周模拟高住低练,发现人体红细胞中 SOD 和 GSH-Px 酶活性在安静时和运动后都有明显增高,而红细胞 MDA 在安静时和运动后与4周前的比较均无明显变化。低氧训练使机体为适应缺氧环境,应对增强的氧化应激,不断提高机体的抗氧化能力,诱导更多的 SOD、GSH-Px 的合成来清除自由基,何立群^[10]在对大鼠进行模拟5000 m 高原的间歇低氧训练4周和8周后,发现心室肌 SOD 酶活性显著提高。而 MDA 在安静时和运动后与4周前的分别比较均无明显变化,可能是抗氧化酶活性的升高足以清除增多的自由基,达到一个新的动态平衡;也可能因为低氧刺激使得机体心肺功能增强,增加组织的氧利用率,从而减少由于组织缺氧所致的自由基生成。综合以上分析,低氧训练后红细胞抗氧化能力增强,降低了红细胞的氧化损伤程度,这对红细胞抵御自由基的侵害,避免红细胞功能降低有积极的帮助作用。

高原训练是否提高运动能力关键在于高原上是不利因素还是有利因素起主导作用,而 VO_{2max} 是否提高也一直是争论的焦点,Levine^[11]在高原训练对平原成绩的影响的实验中表明,适宜的低氧训练对提高机体血液载氧能力和肌肉的氧化能力等都有明显作用,运动成绩提高。间歇性低氧训练后有氧代谢酶活性明显提高,如 CCO、SDH、LDH、柠檬酸合成酶、脂肪酸氧化酶,线粒体功能增强^[12,13],提高组织利用氧的效率,从而提高机体有氧代谢能力。在间歇性缺氧模拟高原训练对小鼠骨骼肌乳酸代谢的研究中,发现以相同强度做大强度运动时,高原的血乳酸值明显高于平原,高原训练适应后以相同强度运动时,血乳酸浓度下降^[14],本实验中在对人体低氧刺激后得到类似的结果。本实验模拟高住低练组 VO_{2max} 和力竭运动后心率变化不大,而血乳酸有显著升高,定量负荷运动后心率和血乳酸都有明显降低,结果表明本实验的模拟高住低练方法有助于提高有氧运动能力。

男大学生完成 Bruce 递增负荷的力竭运动后,引起红细胞中 MDA 生成显著增多,GSH-Px 酶活性明显增加,而 SOD

活性变化不大。提示红细胞在一次性力竭运动后出现氧化损伤;在模拟高住低练后,红细胞 SOD、GSH-Px 活性在安静时和力竭运动后都得到明显提高,以抵御自由基对红细胞的侵害,减少对红细胞载氧能力的影响;定量负荷运动后血乳酸和心率降低显示有氧运动能力得到改善,本实验结果提示模拟高住低练增强红细胞抗氧化的能力,有助于改善和提高有氧运动能力。

参考文献:

- [1] 任 绮.不同方式的急性运动和慢性运动对自由基代谢的影响[J].体育科学,2004,24(4):22-25.
- [2] 李 晖.递增负荷力竭性运动时大鼠血液氧化、抗氧化能力及RBCM生物物理特性研究[J].中国运动医学杂志,2001,20(3):256-259.
- [3] 辛 东.力竭性运动时大鼠脑组织自由基产生及氧化、抗氧化能力得动态观察[J].中国运动医学杂志,1999,18(4):321-323.
- [4] 张蕊琨,焦 颖,郑书勤,等.力竭性游泳对小鼠脑、肝、肌组织自由基代谢和血清CK、LDH活性的影响[J].中国运动医学杂志,1995,14(2):69-72.
- [5] 张爱芳,王 贵,胡艳龙.一次性递增负荷运动对足球运动员红细胞抗氧化能力和 $Na^+ - K^+ - ATP$ 酶活性的影响[J].中国运动医学杂志,2000,19(4):429-431.
- [6] Walter H R. Impaired red cell filterability with elimination of old red blood cells during a 100 - km race[J]. J Appl Physiol, 1985, 54(3):1351-1354.
- [7] Chao W H. Oxidative stress in humans during work at moderate altitude[J]. J Nutr, 1999, 129(11):2009-2012.
- [8] Wozniak A G. Effect of altitude training on the peroxidation and antioxidant enzymes in sportsmen[J]. Med Sci Sports Exerc, 2001, 33(7):1109-1113.
- [9] Nevin A G, Hale S, Deniz E. Effects of moderate altitude on exhaled nitric oxide, erythrocytes lipid peroxidation and superoxide dismutase levels[J]. Japan J Physiol, 2000, 50:187-190.
- [10] 何立群.间歇性低氧对大鼠运动能力的影响[J].生理通讯,1999,18(2):33-35.
- [11] Levine B D, Stray - Gundersen J. "Living high - training low": effect of moderate - altitude acclimatization with low - altitude training on performance[J]. J Appl Physiol, 1997, 83(1):102-112.
- [12] 王茂叶,雷志平.间歇性低氧训练对小鼠有氧代谢能力影响的研究[J].西安体育学院学报,2001,18(1):32-34.
- [13] Terrados N. Is hypoxia a stimulus for synthesis of oxidative enzymes and myoglobin? [J]. J Appl Physiol, 1990, 68(6):2369-2373.
- [14] 李世成,田 野.间歇性缺氧模拟高原训练对小鼠骨骼肌乳酸代谢的影响[J].中国运动医学杂志,1999,18(2):126-128.

[编辑:郑植友]