



高温高湿环境下补液对有氧耐力的影响

吕志辉

摘要:目的:研究高温高湿环境下运动时补液对有氧耐力的影响。方法:随机选取吉林体育学院运动训练专业学生30名,年龄、身高、体重、肺活量、 VO_{2max} 等指标均无差异,分为常温常湿组、高温高湿组、高温高湿补液组,测试实验过程中的心率(HR)、肌氧含量的变化、运动持续的时间以及恢复时间。结果:对高温高湿环境下运动进行补液干预,发现与高温高湿组相比,补液组体温、HR相对较低,肌氧饱和度下降幅度小,运动持续时间延长、恢复时间缩短。补液可以提高高温高湿环境下有氧运动的能力。

关键词:高温高湿环境;补液;肌氧饱和度;有氧耐力

中图分类号:G804.5 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2017)03-0084-04

DOI:10.12064/ssr.20170313

Effect of Fluid Replacement on Aerobic Endurance in High Temperature and High Humidity Environment

LV Zhihui

(Jilin Sport University, Changchun Jilin 130022, China)

Abstract: To study the effect of fluid replacement on aerobic endurance during exercise in high temperature and high humidity environment. Method: 30 athletes from Jilin Institute of Physical Education were randomly selected. There was no difference between the indexes of age, height, weight, vital capacity and VO_{2max} . The subjects were divided into normal temperature and normal humidity group, high temperature and high humidity group, high temperature and high humidity fluid replacement group. HR, muscle oxygen content changes and the duration of exercise and recovery time were measured in the process of the experiment. Result: Compared with the high temperature and high humidity group, the body temperature and heart rate of the fluid replacement group were lower. The decrease of muscle oxygen saturation was lower. The duration of exercise was prolonged, while the recovery time was shortened. So fluid replacement can improve the ability of aerobic exercise in high temperature and high humidity environment.

Key Words: high temperature and high humidity environment; fluid replacement; muscle oxygen saturation; aerobic endurance

高温高湿环境,是运动员和热带地区居民经常遇到的一种不可避免的特殊环境,而在高温高湿环境下运动员在运动中的身体生理反应一直以来都是环境生理学和运动医学研究的热点问题。在运动人体生理学中高温高湿环境常被定义为:通常温度在 35°C 以上的生活环境和 32°C 以上的训练环境,并且空气的相对湿度在60%以上^[1]。对高温高湿环

境下运动的研究,经历了从早期对机体的热平衡、水盐代谢以及心血管系统等方面的反应,发展到近几年来其对血液流变学、中枢神经系统以及免疫系统等方面的研究^[2,3]。国内外众多专家学者对高温高湿环境下运动做了相应的研究。本文主要研究高温高湿环境运动过程中补液对肌氧含量以及有氧耐力的影响。

收稿日期:2017-03-30

作者简介:吕志辉,男,硕士生。主要研究方向:运动人体科学。E-mail:1095689177@qq.com。

作者单位:吉林体育学院,吉林长春 130022。



1 研究对象和方法

1.1 研究对象

本实验受试者为吉林体育学院运动训练专业学生 30 名,随机分组中各组别学生年龄、身高、体重、肺活量、 VO_{2max} 等指标组间无显著差异,且身体健康,无髌、膝、踝关节等下肢运动损伤史及腰背病史,实验前未经过系统踏蹬训练。实验期间保持常规作息和饮食,每次实验前 24 h 内不进行剧烈运动,且本人签署知情同意书。

1.2 研究方法

1.2.1 文献资料法

通过吉林体育学院图书馆、长春市图书馆进行图书查阅,并利用中国知网、万方数据库等知名网站平台,输入“高温高湿环境与运动”“补液”等关键词

进行检索,收集相关书籍,硕博论文与中英文期刊计 50 余篇,对有价值的书籍、文献进行阅读记录,并综合整理总结出相关论点。

1.2.2 实验法

1.2.2.1 实验设计

该试验在吉林体育学院运动人体科学实验室环境舱中完成,实验分为常温常湿组[温度 25℃,相对湿度 50%心率(50%RH)]、高温高湿组(温度 35℃,相对湿度为 80%RH)高温高湿补液组(温度 35℃,相对湿度为 80%RH)。补液组按照美国运动医学会推荐,运动前 2 h 摄入 400~500 ml 水,补液遵循少量多次原则,分别在运动前 1 h、30 min 补充 100 ml,运动 6 min 时补充 200 ml。补液使用运动饮料,该饮料电解质含量为碳水化合物 4.8 g/100ml,钠 6 mg/100ml,其余为纯净水^[4]。实验分组及受试者基本情况如表 1 所示。

表 1 不同组别受试对象基本情况

Table I Basic Information of the Subjects of the Different Groups

	年龄/岁	身高/cm	体重/kg	$VO_{2max}/ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$
常温常湿组(N=10)	21.7±4.1	173.0±3.4	66.5±4.2	46.5±8.3
高温高湿组(N=10)	22.5±2.3	172.0±2.7	62.7±2.6	48.4±7.8
高温高湿补液组(N=10)	20.8±3.6	171.2±4.1	68.5±6.7	47.6±5.9

1.2.2.2 肌氧含量的测试

采用 Moxly 近红外光肌氧检测系统来监测肌氧含量。监测时选择踏蹬功率自行车训练时的主动肌—股外侧肌以及股内侧肌的肌腹中点为监测点,将近红外光测试系统放置于一侧大腿股外侧肌以及股内侧肌腹中部的纵向平面上,然后用弹力绷带固定,松紧度适中,每次测试开始约 20 s 后出现稳定值再开始正式记录。

1.2.2.3 运动方式

在试验前 1 周,受试者在熟悉试验流程,静坐 30 min 后,佩戴呼吸面罩,在 COSMED 气体心肺功能测试系统上做递增运动,功率车从 50 W 开始,每 30 s 递增 50 W 的速度运动至力竭。力竭的标准为:递增运动过程中摄氧量达到峰值,即随着负荷增加,摄氧量不变或上升幅度不超过 5%;呼吸商 ≥ 1.10 ;实测心率接近或超过 180 次/分;同时受试者自我感觉疲乏,呼吸困难,RPE(主观体力等级)达 19 级,且一再鼓励下仍不能坚持运动,然后举手示意停止运动。运动开始前和运动停止即刻测量腋下皮肤温度。

1.2.3 数理统计法

运用 Microsoft Excel 2007 及 SPSS19.0 软件对所有实验数据进行统计分析,所有统计数据均采用 $(\bar{X} \pm S)$ 表示,显著水平为 $P < 0.05$,非常显著水平为 $P < 0.01$ 。

2 实验结果

2.1 运动前后体温的变化

由表 2 可知,运动前常温常湿组 / 高温高湿组和高温高湿补液组体温无显著差异($P > 0.05$)。运动后,与常温常湿组相比,高温高湿组体温有显著升高($P < 0.05$);而高温高湿补液组体温无显著差异($P > 0.05$)。

表 2 运动前后体温的变化情况

Table II Body Temperature Changes before and after the Exercise

组别	常温常湿组 /°C	高温高湿组 /°C	高温高湿补液组 /°C
运动前	36.7±0.3	36.8±0.2	36.7±0.4
运动后即刻	37.7±0.6	38.4±0.3*	38.1±0.5

注:* 表示与运动前相比, $P < 0.05$ 。

2.2 运动前后 HR 的变化

由表 3 可以看出,3 组实验对象的心率随着时间的变化均逐渐上升,在运动过程中,高温高湿组在 12 min 末最先达到最大心率,高温高湿补液在 14 min 末也达到最大心率,因此,两者在 15 min 末 HR 变化未做记录。与常温常湿相同的时间节点上 HR 的对比可以发现,在 9 min 末高温高湿组和高温高湿补液组的



HR 均有显著性升高($P < 0.05$),而高温高湿组升高非常显著($P < 0.01$);与高温高湿组相比,在 12 min 末,高温高湿补液组 HR 显著性升高($P < 0.05$)。

表 3 不同环境下运动过程中心率变化(单位:次/分)

Table III Heart Rate Changes in the Course of Exercise in Different Environment

时间	常温常湿组	高温高湿组	高温高湿补液组
0min	80.2±4.3	81.7±3.6	78.6±6.5
3 min 末	105.0±14.7	114.6±15.1	103.2±12.8
6 min 末	124.5±3.8	131.2±2.9	127.0±10.2
9 min 末	143.7±5.1	160.0±13.7**	154.8±9.6*
12 min 末	156.3±13.3	175.8±2.3**	169.3±18.6**△
15 min 末	171.3±4.1	——	——

注:*表示与常温常湿组比较, $P < 0.05$,**表示 $P < 0.01$;
△表示与高温高湿组比较, $P < 0.05$,△△表示 $P < 0.01$ 。

2.3 不同组别运动持续时间

图 1~3 分别所表示的运动至力竭时常温常湿组、高温高湿组以及高温高湿补液组的肌氧饱和度随时间的变化曲线。纵坐标代表肌氧饱和度,横坐标代表时间,两条曲线分别代表股内侧肌和股外侧肌的肌氧饱和度随时间的变化情况。由图中可以看出,在常温常湿组运动至力竭持续的时间最长,高温高湿组运动至力竭持续时间最短,而在高温高湿补液组,运动持续时间短于常温常湿组,但相比于高温高湿组,运动持续时间有所延长。运用单因素方差分析可以发现,与常温常湿组相比,高温高湿和高温高湿补液组运动至力竭持续时间有非常显著差异($P < 0.01$),两两比较发现,与高温高湿组相比,高温高湿补液组运动持续时间显著延长($P < 0.05$)。

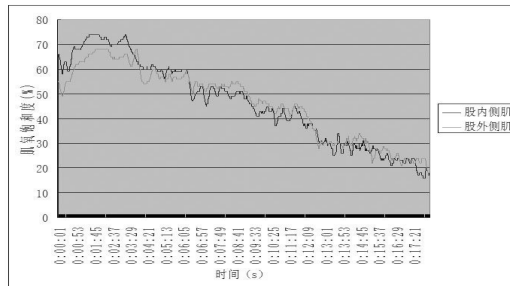


图 1 运动至力竭时常温常湿组肌氧饱和度随时间的变化曲线

Figure 1 Variation Curves of the Muscle Oxygen Saturation following the Changes of Time in Exercise to Exhaustion of the Normal Temperature and Normal Humidity Group

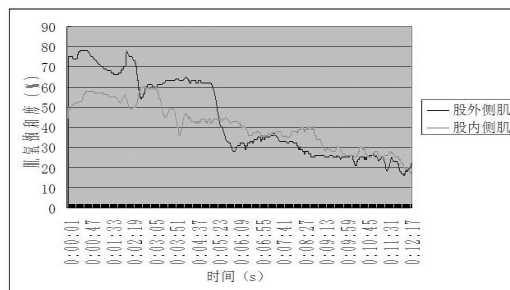


图 2 运动至力竭时高温高湿组肌氧饱和度随时间的变化曲线

Figure 2 Variation Curves of the Muscle Oxygen Saturation following the Changes of Time in Exercise to Exhaustion of the High Temperature and High Humidity Group

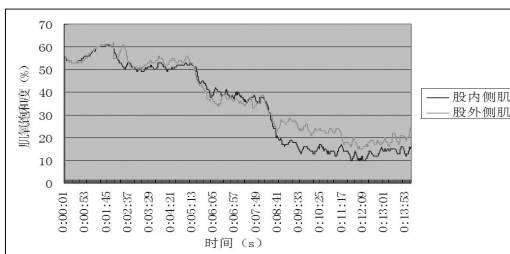


图 3 运动至力竭时高温高湿补液组的肌氧饱和度随时间的变化曲线

Figure 3 Variation Curves of the Muscle Oxygen Saturation following the Changes of Time in Exercise to Exhaustion of the High Temperature and High Humidity Fluid Replacement Group



2.4 运动后肌氧饱和度恢复所需时间

表 4 为不同组别恢复时间的比较。由表 4 可知, 常温常湿组运动恢复时间最短, 高温高湿组恢复时间最长, 高温高湿补液组恢复时间介于两者之间。运用单因素方差分析发现, 与常温常湿组相比, 高温高湿和高温高湿补液组恢复时间均有非常显著性差异 ($P < 0.01$), 而与高温高湿组相比, 高温高湿补液组恢复时间显著加快 ($P < 0.01$)。

表 4 不同组别肌氧饱和度恢复至正常所需时间

Table IV Time of the Different Groups for the Recovery of Muscle Oxygen Saturation

组别	运动恢复时间/s
常温常湿组	191±7
高温高湿组	279±9**
高温高湿补液组	237±4**△

注: * 表示与常温常湿组比较, $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$; △ 表示与高温高湿组比较, $P < 0.05$, △△ 表示 $P < 0.01$ 。

3 分析与讨论

体温是机体进行热调节反应的重要生理学指标。骨骼肌在运动时需要较大的血流量来运输氧气和营养物质, 在常温下, 心输出量的 80% 将用于满足运动时的生理需求。在湿热环境中, 血液循环和肌肉血流量会分配至调节体温的部分, 因此, 体温会随着机体的运动强度等比升高。一方面, 湿热环境下运动脱水会导致体液流失, 进而使血浆量、体表血流量减少, 同时, 湿热环境影响汗液蒸发, 使得机体散热能力降低; 另一方面, 机体在运动中的肌肉活动累积热量的速率快于机体排热的速率, 也使得体温升高。而体温升高将直接导致机体产生一系列生理功能紊乱, 影响生理机能, 增加疲劳感。有研究显示, 体温过高是导致湿热环境下运动性疲劳、运动持续时间短的关键因素^[5]。

肌氧的变化可以反映肌组织中氧代谢的状况。骨骼肌在工作时会利用肌肉和血液中的氧, 当肌肉和血液中的氧供应不足时, 会加速肌组织的疲劳, 最终导致机体工作能力下降^[6]。而在高温高湿环境下运动过程中肌氧饱和度的下降可能由以下原因引起: 首先, 在高温高湿环境下运动, 机体体温迅速升高导致能量的消耗增加; 其次, 高温高湿环境促使机体能量代谢加快, 产生了大量的 CO_2 , 使得局部组织 PCO_2 升高, 肌氧减少; 再次, 高温高湿环境下运动过程中肌组织在短时间内糖酵解产生的乳酸会使 PH 值低, 2,3-DPG 增加, 使肌组织中氧和血红蛋白解离速度加快, 肌氧饱和度下降^[7]; 此外, 高温高湿环境

下运动过程中微血管循环受影响, 线粒体数目和有氧代谢酶的活性有所下降, 肌氧减少。

在长时间的持续运动过程中, 高温高湿环境会使得机体有氧耐力下降。在高温高湿环境下运动时无氧代谢加强, 乳酸堆积而糖原储备量减少, 血糖浓度下降、体温升高、内环境稳定性失调、肌氧供应量减少, 神经系统活动能力也有所下降, 这些因素均能引起有氧耐力的下降, 加速疲劳的发生。

运动前后及时补充水分和电解质可以防止脱水, 使神经系统的活动能力得以维持, 还可以维持内环境相对稳定, 降低体温, Na^+ 、 Ca^{2+} 等可以提高肌组织中氧的工作能力, 外源性补糖能增加糖原储备, 从而提高高温高湿环境下的运动能力, 延长运动时间以及缓解运动疲劳。

4 结论

与常温常湿环境相比, 高温高湿环境下运动, 机体的体温、HR 会明显升高, 肌氧饱和度下降较快, 运动持续时间缩短, 恢复时间延长; 对高温高湿环境下运动进行补液干预对比发现, 补液组体温、HR 上升较高温高湿组更低, 肌氧饱和度下降幅度更小, 运动持续时间延长、恢复时间缩短。补液可以提高高温高湿环境下有氧运动的能力。

参考文献:

- [1] 邱仞之. 环境高温与热损伤[M]. 北京: 军事医学科学出版社, 2000: 57.
- [2] Goulet E. D. Effect of exercise-induced dehydration on time-trial exercise performance: a meta-analysis[J]. Br. J. Sports Med., 2011, 45(14): 1149-1156.
- [3] Tripette J., Loko G., Samb A., et al. Effects of hydration and dehydration on blood rheology in sickle cell trait carriers during exercise[J]. Am. J. Physiol Heart Circ. Physiol., 2010, 299(3): 908-914.
- [4] 侯希贺, 王人卫, 吴卫兵, 等. 高温高湿环境下高水平古典式摔跤运动员运动热调节反应及补液干预的作用[J]. 成都体育学院学报, 2016, 42(3): 122-126.
- [5] Nybo L. Brain temperature and exercise performance[J]. Exp. Physiol., 2012, 97(3): 333-339.
- [6] 马国东, 罗冬梅, 徐飞, 等. 模拟海拔 4800m 急性低氧运动对肌氧饱和度的影响[J]. 北京体育大学学报, 2011, 34(1): 54-57.
- [7] 王瑞元. 运动生理学[M]. 北京: 人民体育出版社, 2012.

(责任编辑: 何聪)