

低氧训练中糖-电解质饮料补充对机体 水平衡及运动能力的影响

郭浙斌¹, 苗苗², 黄玉山², 高萱², 郭红²

(1.华南理工大学 体育学院, 广东 广州 510641; 2.华南师范大学 体育科学学院, 广东 广州 510631)

摘 要: 研究低氧训练中补充糖-电解质饮料对机体水平衡及运动能力的影响。7名健康体育学院学生参与实验,在常氧或低氧(低氧帐篷,氧体积分数15.4%)下以70%VO_{2max}负荷运动至力竭,运动中不补液或补充佳得乐运动饮料。结果显示,机体在低氧或常氧环境下进行一次性力竭运动后均出现体重下降、血清渗透压升高等脱水现象,运动中补充糖-电解质饮料可明显改善脱水情况,恢复机体水平衡。低氧环境下与常氧下绝对强度相同的运动负荷相对增大,运动中心率明显增加,运动时间明显缩短,但在补液干预下心率反应明显降低,运动时间明显延长。低氧环境下运动机体乳酸积聚的速度加快,补液可使运动后的血乳酸值显著性降低。实验结果提示,低氧训练中适时补充糖-电解质饮料可有效防止体液丢失,并有利于维持心率和消除乳酸,提高机体的运动能力,促进恢复。

关 键 词: 氧浓度;裸重;血清渗透压;血乳酸

中图分类号: G804.2 文献标识码: A 文章编号: 1006-7116(2008)03-0108-05

Effects of the supplement of carbohydrate-electrolyte drinks on body fluid balance and sports capacity during hypoxic training

GUO Zhe-bin¹, MIAO Miao², HUANG Yu-shan², GAO Xuan², GUO Hong²

(1.School of Physical Education, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China;

2.School of Physical Education, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: In order to study the effects of the supplement of carbohydrate-electrolyte drinks on body fluid balance and sports capacity during hypoxic training, the authors selected 7 healthy students from a physical education institute to participate in the experiment and exercise in a normoxic or hypoxic environment (a hypoxic tent with 15.4% of oxygen concentration) under the load of 70%VO_{2max} until they were exhausted – no fluid or drink was supplemented during exercising, and revealed the following findings: after having done an exhausted exercise in a hypoxic or normoxic environment, the human body showed signs of dehydration, such as weight loss and rise of serum osmotic pressure; the supplement of carbohydrate-electrolyte drinks during exercising can significantly improve the conditions of dehydration, and recover body fluid balance; in a hypoxic or normoxic environment, with the relative increase of exercise load with the same absolute intensity, during exercising the heart rate increased significantly, the exercise time was significant shortened, but with the supplement of fluid, the heart rate decreased significantly, and the exercise time was significantly lengthened; in a hypoxic environment, the accumulation of lactic acid in an exercising body was accelerated, but the supplement of fluid can significantly lower blood lactic acid value after exercising. The experimental results indicate that timely supplement of carbohydrate-electrolyte drinks during hypoxic training can effectively prevent the loss of body fluid, being conducive to maintaining heart rate, eliminating lactic acid, enhancing body sports capacity, and promoting body recovery.

收稿日期: 2007-10-23

基金项目: 美国佳得乐运动科学学院资助项目(330256)。

作者简介: 郭浙斌(1974-),女,助理工程师,硕士,研究方向:运动人体科学。

Key words: oxygen concentration; net weight; serum osmotic pressure; blood lactic acid

现代竞技运动水平的不断提高,使得人们在不断思考新的训练思路和方法。在低氧环境下模拟高原训练的方式作为一种特殊的训练手段,既可发挥高原缺氧和运动双重刺激对机体的有益影响,又能避免高原低氧不利于身体恢复的缺点,有效提高有氧运动能力,并已越来越多地应用于运动训练实践。目前有关低氧训练法的研究主要集中在对骨骼肌毛细血管生成和氧利用及相关分子适应机制,以及不同低氧训练方式的训练效果等研究。大量研究表明,长时间或大强度运动中体液丢失引起的脱水与运动能力的降低和疲劳的发生密切相关。但目前关于低氧训练中的运动脱水状况研究鲜有报道。本研究采用低氧下力竭运动方式,观察常氧和低氧环境下,运动中补液与不补液对机体水平衡及运动能力的影响,以期为低氧训练的科学化提供生理学依据,为进一步完善低氧训练理论和促进低氧训练效果提供实验参考。

1 实验方法

7名健康体育科学学院男生(25±1)岁,身高(173±5)cm,体重(67.43±8.04)kg,自愿参加实验。根据实验条件分为:常氧不补液运动(常氧对照,NC)、常氧补液运动(NF)、低氧不补液运动(HE)和低氧补液运

动(HF)等4项实验。

实验运动模型采用直立蹬车运动,受试者在功率自行车上以70%VO_{2max}相对应的负荷运动至力竭,蹬踏频率60r/min,按实验项共进行4次运动。每次运动间隔一周。补液方式以运动中每15min补充一次糖-电解质饮料(佳得乐运动饮料,糖质量分数6%,钠离子质量浓度0.12mg/mL,钾离子质量浓度0.12mg/mL,渗透压290mOsm/kg),总补液量为同一环境下不补液运动出汗量的80%。低氧训练在低氧帐篷内进行,氧体积分数15.4%,模拟海拔2500m。

受试者在每次实验前一晚22:00后禁食禁水。实验日,先测定体重(裸重)、心率、血清渗透压、血乳酸。运动中记录运动时间及心率变化。运动后即刻、15min、30min分别再测相应指标。

2 结果与分析

2.1 低氧下运动及补液对机体水平衡的影响

1)低氧下运动及补液对机体体重的影响。

如表1所示,各项实验在运动后体重均有所下降,但体重变化百分比不同。NF变化明显低于NC(-0.70±0.26)% vs(-2.12±0.40)%, $P<0.05$);HF变化显著低于HE(-0.65±0.59)% vs(-1.72±0.63)%, $P<0.05$)。

表1 各类实验运动前后体重($\bar{x}\pm s$)的变化

实验	人数	运动前裸重/kg	运动后裸重/kg	运动前后体重变化百分比/%
NC	7	66.69±8.14	65.33±8.16	-2.12±0.40
NF	7	66.70±8.36	66.24±8.36	-0.70±0.26 ¹⁾
HE	7	66.83±8.39	65.71±8.52	-1.72±0.63
HF	7	66.60±8.22	66.18±8.35	-0.65±0.59 ²⁾

1)与NC相比较 $P<0.05$;2)与HE相比较 $P<0.05$

2)低氧下运动及补液对机体出汗量和出汗率的影响。

如表2所示,NF的汗液丢失量比NC显著性增加((1.99±0.42)kg vs (1.39±0.20)kg, $P<0.05$);HE运动过程中的汗液丢失量为(1.13±0.33)kg,同NC组相比

显著降低($P<0.05$);HF运动过程中的汗液丢失量比HE显著增加((1.65±0.53)kg vs (1.13±0.33)kg, $P<0.05$)。NF和NC的出汗率没有显著性变化;HE同NC相比虽略有升高,但无显著性变化;HF与HE比略有升高,但差异也无显著性。

表2 各类实验运动过程中汗液丢失($\bar{x}\pm s$)情况

实验	人数	运动时间/min	运动中汗液丢失量/kg	出汗率/kg·h ⁻¹
NC组	7	84.6±12.8	1.39±0.20	0.97±0.15
NF组	7	123.0±20.2 ¹⁾	1.99±0.42 ¹⁾	0.97±0.13
HE组	7	66.2±9.9 ¹⁾	1.13±0.33 ¹⁾	1.02±0.24
HF组	7	87.7±6.6 ²⁾	1.65±0.53 ²⁾	1.12±0.32

1)与NC相比较 $P<0.05$;2)与HE相比较 $P<0.05$

3)低氧下运动及补液对机体血清渗透压的影响。

图 1 显示各项实验在运动前后血清渗透压的变化情况。NC 与 HE 在运动后即刻的血清渗透压较运动前均有显著性升高 ($P < 0.05$), 虽在运动结束 30 min 较运动后即刻有所降低, 但仍明显高于运动前 ($P < 0.05$)。HF 在运动后即刻的血清渗透压虽比运动前略有升高, 但差异不具有显著性; HF 运动后即刻明显低于 HE ($P < 0.05$)。运动后 30 min, HF 与运动前相比差异没有显著性, 但明显低于 HE ($P < 0.05$)。NF 与 NC 在运动后即刻均有显著性升高 ($P < 0.05$), 在运动后 30 min, NC 的血清渗透压仍明显高于运动前 ($P < 0.05$), NF 则基本恢复到运动前水平; 在运动后即刻与运动后 30 min, NF 的血清渗透压明显低于 NC 组 ($P < 0.05$)。

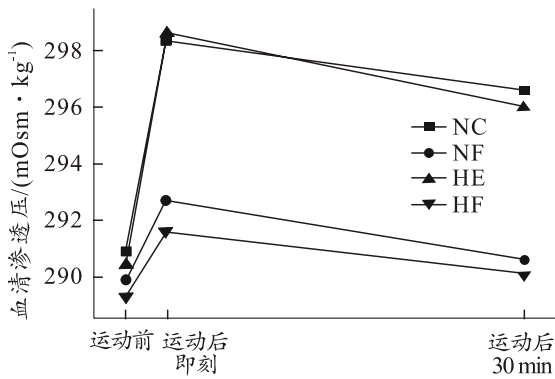


图 1 各项实验运动前后血清渗透压变化趋势

2.2 低氧下运动及补液对有氧运动能力的影响

1)低氧下运动及补液对运动时间的影响。

NF 和 NC 的运动时间分别为(123.0 ± 20.0) min 和 (84.6 ± 12.8) min, NF 比 NC 运动时间显著性增加, $P < 0.05$); HE 运动时间为(66.2 ± 9.9) min, 同 NC 及 HF(87.7 ± 6.6) min 比显著降低($P < 0.05$)。

2)低氧下运动及补液对心率的影响。

各项实验运动前安静心率差异无显著性(NC 为(61 ± 8)次/min、NF 为(62 ± 6)次/min、HE 为(59 ± 8)次/min、HF 为(60 ± 7)次/min); 各项实验运动过程中的平均心率差异也均无显著性(NC 为(155 ± 9)次/min、NF 为(149 ± 7)次/min、HF 为(155 ± 10)次/min、HF 为(157 ± 12)次/min)。

图 2 显示项实验在运动过程中心率的变化趋势。HE 的心率变化曲线一直处于 NC 曲线的左侧, 并在运动的后一阶段, HE 曲线左移的程度加大。在运动开始阶段, HF 和 HE 的心率变化曲线基本上处于重合状态, 但在运动 50 min 时, HE 的曲线较 HF 有一定程

度的左移。NF 的曲线始终位于 NC 曲线的右侧, 而且随着运动时间的增加, NF 曲线较 NC 明显右移, 且曲线上升缓慢。在运动过程中同一时间点, NF 的心率始终低于 NC。

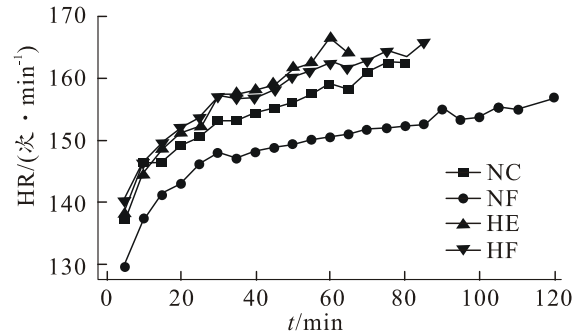


图 2 低氧与常氧环境下运动时心率变化

如图 3 示, HE 和 NC 两心率差值的变化率随着运动时间的增加而增大。由图 4 可知在运动开始的 30 min, HF 的心率比 HE 要高约 1% ~ 2%, 但运动开始 35 min 直至运动结束, HF 的心率始终低于 HE。

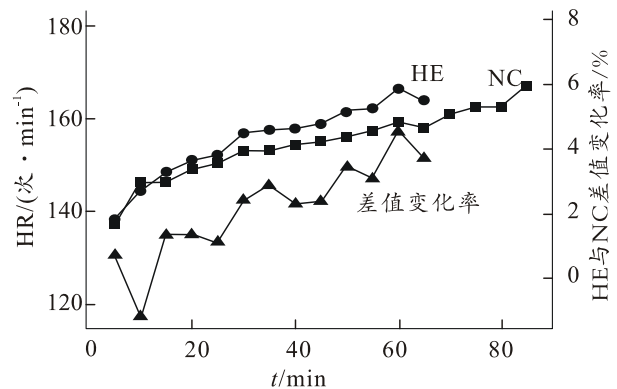


图 3 NC 与 HE 运动过程中时间-心率变化

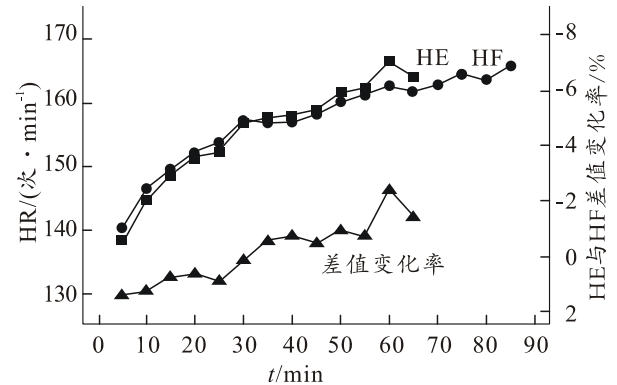


图 4 HE 与 HF 运动过程中时间-心率变化

3)低氧下运动及补液对血乳酸浓度的影响。

如图5所示,各项实验在运动后即刻的血乳酸浓度均显著升高($P < 0.05$)。HE在运动后即刻明显高于NC($P < 0.05$);运动后15 min,各组的血乳酸浓度有所下降,但只有HE和HF表现明显($P < 0.05$),至运动后30 min,各类实验较本类实验运动后即刻都有显著性下降($P < 0.05$)。

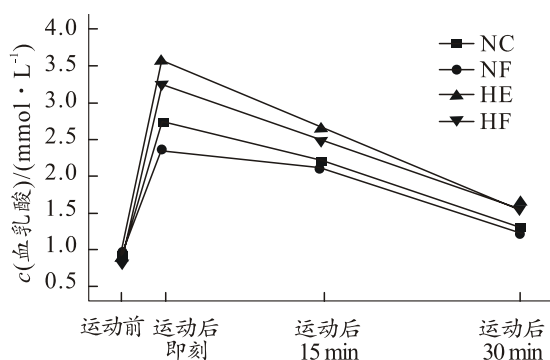


图5 各项实验运动前后血乳酸的变化

3 讨论

3.1 低氧下运动及补液对机体体液平衡的影响

1)低氧下运动及补液对机体水平衡的影响。

机体在剧烈运动过程中会引发体液的大量丢失,从而使体重明显降低。因此,通过比较分析机体在运动过程中体重的变化,可以较为直观地反映机体的脱水情况。本次实验中,低氧和常氧不补液时在运动后体重均有所降低,说明机体出现脱水现象,体内水平衡失调。但两种实验在运动前后体重的变化率差异没有显著性,这可能是由于低氧下因低氧和运动的双重刺激使运动强度相对增大,运动时间缩短,致总汗液丢失量较少。低氧不补液的出汗率稍高于常氧不补液,这可能与低氧下交感神经兴奋性的增加有关。Bocqueraz^[1]的研究结果表明,低氧运动组较常氧运动组可以观察到更多的交感神经的活动。而汗腺分泌汗液主要受交感神经控制,低氧条件使交感神经活跃,刺激汗腺分泌,加速排汗。

2)补液对低氧下运动中机体水代谢失衡的干预。

本实验中运动后即刻,常氧补液时血清渗透压升高的幅度要明显低于对照,表明常氧环境中补液可缓解由于运动而使机体出现的脱水^[2-3],与文献报道一致。低氧补液在运动后即刻血清渗透压升高的幅度也显著低于其对照,说明低氧环境中补液对于运动中机体水代谢失衡有一定的改善作用。这也可通过低氧补液和低氧不补液实验的体重变化得到证明:尽管低氧补液运动时间明显多于低氧不补液,但低氧补液在运

动后所丢失的体重却显著少于低氧不补液实验。

此外,在运动后30 min,低氧补液和低氧不补液实验血清渗透压比运动后即刻均有所降低,但仍显著性高于运动前,说明机体水代谢失衡并未得到恢复。本次实验中,各项实验在运动后0.5 h内均不补充液体。因而可认为是由于细胞内液中水分向血浆中扩散的结果。

3.2 低氧下运动及补液对有氧运动能力的影响

1)低氧下运动及补液对运动时间的影响。

长时间高强度运动不可避免的使机体出现脱水现象。研究表明,脱水会使机体的热耐受力大大降低,万米长跑运动员在正常水合状态时跑完全程只需要35 min,而在机体脱水达到4%时,跑完全程的时间要比正常运动时间长8%。另有研究显示,运动中摄入碳水化合物能保持较好的血糖浓度,使疲劳的发生较对照组推迟了约30 min^[4]。这说明高强度运动中进行科学补液是非常有必要的。

在本实验中,低氧不补液实验的运动时间明显少于常氧不补液实验,说明低氧环境下,机体的运动能力会受到抑制;而进行补液时,无论是在低氧还是在常氧环境下,运动时间均得到显著延长,说明补液在常氧或低氧条件下均可提高受试者的运动能力。但应指出的是,无论在绝对运动时间的提升量,还是运动时间相对增加的百分比上,补液对于低氧环境下运动能力的改善作用均低于常氧环境。

2)低氧下运动及补液对心率的影响。

实验结果显示,低氧不补液的心率-时间变化曲线比常氧不补液明显左移,低氧环境下心率加快。这是机体对低氧环境的一种加强氧运输的代偿,以保证机体在运动中对氧的需求。在同一时间段内,常氧补液实验的心率反应明显低于不补液实验,低氧补液实验表现相同。这与补液能维持较好的血浆容量有关。尽管运动前30 min内,低氧补液实验比低氧不补液曲线有一定程度左移,但在35 min后,低氧补液曲线斜率降低,同低氧不补液实验相比有一定程度的右移,可见补液对于维持心率的稳定有一定的作用。

3)低氧下运动及补液对血乳酸的影响。

人体在运动中ATP的再合成来源于3个供能系统,研究表明,即使是在安静状态下,几乎所有细胞都仍然在进行糖酵解和生成乳酸^[5]。此外,长时间的有氧运动中也仍然存在糖酵解供能的现象^[6]。本实验结果一致。

在低氧环境下运动时,由于环境中氧分压很低,肺泡气、动脉血中的氧分压也随之下降,使乳酸的生成速度加快。本实验中低氧不补液实验在运动后即刻

的血乳酸浓度明显高于常氧对照实验。这不仅是因为低氧限制了机体的有氧代谢,而且与机体激素分泌的低氧应激有关。研究表明,血乳酸的产生与肾上腺素和去甲肾上腺素的浓度显著相关^[7-9]。急性低氧暴露和运动使机体处于应激状态,提高了交感神经的兴奋性,使肾上腺素和去甲肾上腺素分泌增多,从而引起血乳酸浓度的升高。

本实验中低氧补液运动后血乳酸浓度低于不补液,尽管不具有显著性,但这种趋势仍应引起关注。Hargreaves等^[9]的研究认为,运动中脱水增加了肌糖元的酵解作用,这可能与中心体温上升、氧运输减少和(或)儿茶酚胺含量上升有关。补液减轻了机体脱水的状况,进而可使体内血乳酸的积聚减少。

本次实验中相同运动负荷下,低氧不补液实验运动后血乳酸浓度明显高于常氧对照实验,说明机体在低氧下训练更容易引起血乳酸的堆积,从而利于提高机体在运动中对血乳酸的耐受能力。但同时,低氧不补液实验的运动时间明显短于常氧对照实验,提示低氧环境中氧耐力训练的运动量会因为血乳酸的快速升高而受到影响。低氧下训练运动强度和运动时间的不足是当前体育科研界所面临的重要课题,通过外源性物质补充提高运动能力正是科研工作者克服上述难题的努力方向之一。本文研究发现,低氧运动训练中的适当补液可以达到降低运动后血乳酸浓度的效果。此外,马永红^[10]的研究发现,运动中补充碱性离子水可以平衡机体由于过度疲劳而产生的血乳酸,并对疲劳恢复有一定帮助。提示,低氧下运动时必须注意补充电解质饮料,以增强机体对乳酸的缓冲作用,从而最终提高训练效果。

参考文献:

- [1] Bocqueraz O. Fluid-regulatory hormone responses during cycling exercise in acute hypobaric hypoxia[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2004, 36(10): 1730-1736.
- [2] 邓树勋,王健.高级运动生理学——理论与应用[M].北京:高等教育出版社,2003.
- [3] 史小才.补液、补糖和运动[J].*中国运动医学杂志*, 1997, 16(3): 192-199.
- [4] Coggan Andrew R, Edward F Coyle. Effect of carbohydrate feedings during high intensity exercise[J]. *J Appl Physiol*, 1988, 65(4): 1703-1709.
- [5] 冯连世,冯美云,冯炜权.运动训练的生理生化检测方法[M].北京:人民体育出版社,2006.
- [6] 冯炜权.运动疲劳及过度训练的生化诊断——运动生物化学动态之三[J].*北京体育大学学报*, 2000, 23(4): 498-502.
- [7] 张海霞,胡杨.低氧运动对血清离子浓度的影响及电解质饮料干预的效果[J].*中国运动医学杂志*, 2005, 24(4): 430-433.
- [8] Edward F Coyle. Fluid and fuel intake during exercise[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2004, 22: 39-55.
- [9] Bickham D C. Extracellular K^+ accumulation: A physiological framework for fatigue during intense[J]. *J Physiol*, 2004, 554(3): 593.
- [10] 马永红.饮水与运动后的疲劳恢复——碱性离子水对运动员训练后HL的实验与分析[J].*北京体育大学学报*, 2002, 25(4): 480-481.

[编辑: 郑植友]