

补充不同液体对 5 km 武装越野训练者内环境及机体热调节反应和重症中暑的影响

李庆华¹ 孙荣青² 宋青³ 宁波⁴ 刘树元³ 吴籽欣⁵
王炳军¹ 王海伟¹ 王楠楠¹ 闫进¹ 王晶¹

¹解放军联勤保障部队第九九〇医院重症医学科,河南驻马店 463008;²郑州大学第一附属医院重症医学科 450052;³解放军总医院重症医学科,北京 100853;⁴空军总医院,北京 100142;⁵新乡医学院第三临床学院 453000

通信作者:孙荣青,Email:rongqing.sun@126.com

【摘要】目的 探讨补充不同液体对 5 km 武装越野训练者内环境及机体热调节反应和重症中暑的影响。**方法** 选择 2018 年 6 月至 7 月夏训期间参加 5 km 武装越野训练(每周 2~3 次,每次 25~30 min,共 3 周)的某特战队官兵作为研究对象,并按随机数字表法将其分为 3 组,每组 300 例。各组分别于每次 5 km 武装越野训练前 15 min、训练 15 min 后各补液 200 mL, A 组饮用白开水, B 组饮用纯净水, C 组饮用解放军联勤保障部队第九九〇医院制剂室配制饮料(100 mL 含碳水化合物 6 g、钠 42 mg、钾 11 mg)。分别于训练前及最后一次训练后或重症中暑发病时立即取静脉血,检测血清心肌钙蛋白 I(cTnI,化学发光法)、肌酸激酶同工酶(CK-MB,免疫抑制法)、血肌酐(SCr,酶法)、尿素氮(BUN,酶法)、丙氨酸转氨酶(ALT,比色法)、天冬氨酸转氨酶(AST,比色法)及 Na⁺、K⁺、Cl⁻ 含量(电极法),同时监测心率(HR)、核心温度(Tc,肛温);计算训练中出汗量并记录重症中暑发生情况。**结果** 3 组 5 km 武装越野训练前心、肝、肾功能及电解质、机体热调节反应情况差异均无统计学意义,具有可比性。与训练前比较,3 组训练后或重症中暑发病时血清 cTnI、CK-MB、SCr、BUN、ALT、AST 水平及 HR、Tc 均明显升高,血清 Na⁺、K⁺、Cl⁻ 含量均明显下降,但 C 组较 A 组和 B 组升高或降低幅度相对较小[cTnI(μg/L): 0.9(0.6, 1.4) 比 1.1(0.7, 2.8)、1.0(0.6, 3.3), CK-MB(U/L): 7.0(5.0, 11.0) 比 9.0(6.0, 14.5)、8.0(6.0, 15.0), SCr(μmol/L): 92.09±18.64 比 102.78±18.77、103.64±20.07, BUN(mmol/L): 7(6, 9) 比 9(8, 11)、10(8, 13), ALT(U/L): 27(22, 34) 比 36(30, 43)、34(27, 43), AST(U/L): 37(31, 48) 比 41(34, 50)、39(34, 51), HR(次/min): 87.01±17.07 比 95.88±21.06、96.59±22.04, Tc(°C): 37.73±0.81 比 38.03±1.05、38.10±1.04, Na⁺(mmol/L): 150.14±3.86 比 144.18±8.89、144.04±9.39, K⁺(mmol/L): 4.32±0.57 比 4.15±0.62、4.13±0.51, Cl⁻(mmol/L): 100.43±3.71 比 98.42±4.24、98.41±4.58, 均 P<0.01]。C 组训练中重症中暑发生率较 A 组和 B 组显著降低[1.67%(5/300) 比 5.00%(15/300)、5.33%(16/300), χ²=6.424, P=0.040]。A、B、C 组训练中出汗量比较差异无统计学意义(g: 370.47±48.71、370.85±50.66、370.17±50.21, F=0.014, P=0.986)。而 A 组与 B 组上述各指标比较差异均无统计学意义(均 P>0.05)。二分类 Logistic 回归分析显示,HR、Tc 的提高及 Na⁺、K⁺、Cl⁻ 的过度丢失是发生重症中暑的危险因素[优势比(OR)分别为 0.848、0.138、1.565、17.996、2.328, 均 P<0.01]。**结论** 及时补充碳水化合物、钠及钾能有效改变 5 km 武装越野训练者内环境、机体热调节反应,减少重症中暑。HR、Tc 的提高及 Na⁺、K⁺、Cl⁻ 的过度丢失是发生重症中暑的危险因素。

【关键词】 重症中暑; 5 km 武装越野训练; 肌酸激酶同工酶; 血肌酐; 丙氨酸转氨酶; 血清钠; 心率; 核心温度

基金项目: 济南军区后勤计划项目(JN11L047); 国家临床重点专科建设项目(2011-873)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.08.023

Effects of different fluid replenishment methods on internal environment, body thermal regulation response and severe heatstroke of 5-km armed cross-country training soldiers

Li Qinghua¹, Sun Rongqing², Song Qing³, Ning Bo⁴, Liu Shuyuan³, Wu Zixin⁵, Wang Bingjun¹, Wang Haiwei¹, Wang Nannan¹, Yan Jin¹, Wang Jing¹

¹Department of Intensive Care Unit, the 990th Hospital of PLA Joint Logistics Support Force, Zhumadian 463008, Henan, China; ²Department of Intensive Care Unit, the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, Henan, China; ³Department of Intensive Care Unit, PLA General Hospital, Beijing 100853, China; ⁴Beijing Air Force General Hospital, Beijing 100142, China; ⁵Third Clinical College of Xinxiang Medical College, Xinxiang 453000, Henan, China

Corresponding author: Sun Rongqing, Email: rongqing.sun@126.com

【Abstract】 Objective To explore the effects of different fluid replenishment methods on the internal environment, body thermal regulatory response and severe heatstroke of 5-km armed cross-country training soldiers. **Methods** A Special Force officers and soldiers who participated in 5-km armed cross-country training (2-3 times

a week, 25–30 minutes each time for 3 weeks) during summer training from June to July in 2018 were enrolled, and they were divided into three groups according to the random number table, with 300 trainees in each group. 200 mL of drinking fluids were given to each group 15 minutes before and after each 5-km armed cross-country training: A group with boiled water, B group with purified water, and C group with beverage prepared by pharmaceutical laboratory of the 990th Hospital of PLA Joint Logistics Support Force (100 mL containing 6 g carbohydrates, 42 mg sodium, and 11 mg potassium). The venous blood was collected before and after the last training or during the onset of severe heatstroke to do the following tests: serum cardiac troponin I (cTnI, chemiluminescence), MB isoenzyme of creatine kinase (CK-MB, immunosuppressive), serum creatinine (SCr, enzymatic method), urea nitrogen (BUN, enzymatic method), alanine aminotransferase (ALT, tryptase), aspartate transaminase (AST, tryptase), and Na^+ , K^+ , Cl^- (electrode method). The heart rate (HR) and core temperature (Tc, anal temperature) were monitored at the same time. The amount of sweat in training and the occurrence of severe heatstroke were also recorded. **Results** There was no significant difference in heart, liver, kidney function, electrolyte and body heat regulation reaction among three groups of 5-km armed cross-country trainees before training. Compared with before training, the levels of serum cTnI, CK-MB, SCr, BUN, ALT, AST, HR and Tc were significantly increased after training or during the onset of severe heatstroke in three groups, while the contents of Na^+ , K^+ , Cl^- were significantly decreased, but the increase or decrease of group C was relatively smaller compared with group A and group B [cTnI ($\mu\text{g/L}$): 0.9 (0.6, 1.4) vs. 1.1 (0.7, 2.8), 1.0 (0.6, 3.3); CK-MB (U/L): 7.0 (5.0, 11.0) vs. 9.0 (6.0, 14.5), 8.0 (6.0, 15.0); SCr ($\mu\text{mol/L}$): 92.09 ± 18.64 vs. 102.78 ± 18.77 , 103.64 ± 20.07 ; BUN (mmol/L): 7 (6, 9) vs. 9 (8, 11), 10 (8, 13); ALT (U/L): 27 (22, 34) vs. 36 (30, 43), 34 (27, 43); AST (U/L): 37 (31, 48) vs. 41 (34, 50), 39 (34, 51); HR (bpm): 87.01 ± 17.07 vs. 95.88 ± 21.06 , 96.59 ± 22.04 ; Tc ($^{\circ}\text{C}$): 37.73 ± 0.81 vs. 38.03 ± 1.05 , 38.10 ± 1.04 ; Na^+ (mmol/L): 150.14 ± 3.86 vs. 144.18 ± 8.89 , 144.04 ± 9.39 ; K^+ (mmol/L): 4.32 ± 0.57 vs. 4.15 ± 0.62 , 4.13 ± 0.51 ; Cl^- (mmol/L): 100.43 ± 3.71 vs. 98.42 ± 4.24 , 98.41 ± 4.58 ; all $P < 0.01$]. The incidence of severe heatstroke in group C was significantly lower than that in group A and group B [1.67% (5/300) vs. 5.00% (15/300), 5.33% (16/300), $\chi^2 = 6.424$, $P = 0.040$]. There was no significant difference in sweating volume in groups A, B, C (g: 370.47 ± 48.71 , 370.85 ± 50.66 , 370.17 ± 50.21 , $F = 0.014$, $P = 0.986$). There was no significant difference in the above indexes between group A and group B (all $P > 0.05$). Bi-classification Logistic regression analysis showed that the increase of HR, Tc and excessive loss of Na^+ , K^+ , Cl^- were risk factors for severe heatstroke [odds ratio (OR) was 0.848, 0.138, 1.565, 17.996 and 2.328 respectively, all $P < 0.01$]. **Conclusions** Timely supplementation of carbohydrate, sodium and potassium ions can effectively change the internal environment and body heat regulation reaction of 5-km armed cross-country trainees, so as to reduce the occurrence of severe heatstroke. The increases of HR, Tc and excessive loss of Na^+ , K^+ , Cl^- are risk factors for severe heatstroke.

【Key words】 Severe heatstroke; 5-km armed cross-country training; MB isoenzyme of creatine kinase; Serum creatinine; Alanine aminotransferase; Serum sodium; Heart rate; Core temperature

Fund program: Logistics Planning Project of Jinan Military Region (JN11L047); National Clinical Key Specialty Construction Projects of China (2011–873)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.08.023

重症中暑以失控的全身炎症反应及多器官功能损伤为显著特点^[1],其病死率高达60%以上^[2]。重症中暑诱发因素较多,如生理因素^[3]、外界环境、强烈日光照射、超负荷运动等。大运动量可使血液中 Na^+ 、 K^+ 等丢失^[4],而 Na^+ 、 K^+ 等缺失会造成心、肝、肾功能严重损伤^[5]。怎样才能有效提高高温高湿环境下5 km武装越野训练官兵耐受高温和抵抗热损伤生理反应的能力,保护心、肝、肾功能,降低重症中暑的发生率,是目前军事训练伤研究的方向。本研究旨在探讨补充不同液体对5 km武装越野训练官兵内环境及机体热调节反应和重症中暑的影响,现报告如下。

1 对象与方法

1.1 研究对象:选择2018年6月至7月夏训期间参加5 km武装越野训练的某特战队官兵900例。

1.1.1 入选标准:①在高温高湿环境中参加5 km武装越野训练者;②参加武装越野训练前无发热、

腹泻、睡眠不足、低血钾等,既往心、肝、肾功能正常,无免疫功能缺陷者;③未进行过任何程度的热习服训练者。

1.1.2 排除标准:①参加5 km武装越野训练前24 h内有剧烈运动、饮用大量烟酒及营养补品者;②在观察研究前1个月内服用过任何药物者;③有代谢性疾病,如高血压、糖尿病史以及家族史者;④5 km武装越野训练期间有二便行为者;⑤训练间歇除饮食外采用其他方式(如服用药品、运动饮料等)补充电解质者。

1.2 伦理学:本研究符合医学伦理学标准,经解放军联勤保障部队第九九〇医院医学伦理委员会批准(审批号:20180009),并获得某特战队领导的同意。

1.3 研究方法:按随机数字表法将参加5 km武装越野训练的官兵分为3组,每组300例。3组每周均进行2~3次5 km武装越野训练,每次25~30 min,共3周。3组分别于每次5 km武装越野训练前15 min、

训练 15 min 后各补液 200 mL, A 组饮用白开水, B 组饮用纯净水, C 组饮用本院制剂室配制饮料 (100 mL 含碳水化合物 6 g、钠 42 mg、钾 11 mg); 饮用水用前均放置 30 °C 恒温箱中保存。

1.4 检测指标及方法: 3 组均于 5 km 武装越野训练前及最后一次训练后或重症中暑发病时立即抽取静脉血 6 mL, 检测血清心肌钙蛋白 I (cTnI, 化学发光法)、肌酸激酶同工酶 (CK-MB, 免疫抑制法)、血肌酐 (SCr, 酶法)、尿素氮 (BUN, 酶法)、丙氨酸转氨酶 (ALT, 比色法)、天冬氨酸转氨酶 (AST, 比色法) 水平以及血清 Na⁺、K⁺、Cl⁻ 含量 (电极法), 严格按试剂盒说明书步骤操作。采用心率测试仪监测心率 (HR), 并测定核心温度 (Tc, 肛温)。记录重症中暑发生情况。用电子人体秤称量裸体体重, 计算每次训练出汗量 (出汗量 = 训练前裸体体重 - 训练后或重症中暑发病时裸体体重 + 训练中饮水量体重), 取均值。

1.5 重症中暑判定标准^[6]: ① 在温度较高的环境下骤然起病, 中心体温 > 40 °C; ② 疾病早期伴出汗, 随后可无汗; ③ 伴不同程度意识障碍等。

1.6 统计学分析: 使用 SPSS 20.0 软件对数据进行统计分析。正态分布的计量资料以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间比较采用独立样本 *t* 检验, 组内比较采用单因素方差分析; 非正态分布的计量资料以中位数 (四分位数) [$M(Q_L, Q_U)$] 表示, 采用 Milcoxon 秩和检验及 Kruskal-Wallis *H* 检验; 计数资料比较采用 χ^2 检验。重症中暑机体热调节反应分析采用二分类 Logistic 回归分析, $\alpha = 0.05$ 。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基本情况: 3 组参与 5 km 武装越野训练官兵的年龄、兵龄以及训练前体温、脉搏、血氧饱和

度、外界环境 (温度、湿度、风速、热指数), 身体功能指标 (肺活量、体重指数、收缩压、舒张压、台阶指数) 和素质指标 (50 m 跑、1 000 m 跑、立定跳远、握力、引体向上) 等比较差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$)。说明 3 组基线资料均衡, 具有可比性。

2.2 补充不同液体与心、肝、肾功能的关系 (表 1): 3 组参加 5 km 武装越野训练前心、肝、肾功能指标 cTnI、CK-MB、SCr、BUN、ALT、AST 水平差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$)。3 组训练后或重症中暑发病时心、肝、肾功能指标均较训练前显著升高 (均 $P < 0.01$), 但 C 组各指标较 A 组和 B 组显著下降 (均 $P < 0.01$), 而 A 组与 B 组比较差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$)。

2.3 补充不同液体与电解质、机体热调节反应的关系 (表 2): 3 组参加 5 km 武装越野训练前血清电解质 Na⁺、K⁺、Cl⁻ 含量及 HR、Tc 比较差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$)。3 组训练后或重症中暑发病时电解质较训练前显著降低, HR、Tc 较训练前显著升高 (均 $P < 0.01$), 但 C 组各指标降低或升高幅度相对 A 组和 B 组小 (均 $P < 0.01$), 而 A 组与 B 组比较差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$)。A 组训练中出汗量为 (370.47 ± 48.71) g, B 组为 (370.85 ± 50.66) g, C 组为 (370.17 ± 50.21) g, 3 组比较差异无统计学意义 ($F = 0.014, P = 0.986$)。

表 2 5 km 武装越野训练期间补充不同液体 3 组官兵训练前后血清电解质及机体热调节反应情况变化比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	时间	例数 (例)	Na ⁺ (mmol/L)	K ⁺ (mmol/L)	Cl ⁻ (mmol/L)	HR (次/min)	Tc (°C)
A 组	训练前	300	152.67 ± 1.99	4.45 ± 0.44	103.34 ± 1.64	69.65 ± 8.96	37.14 ± 0.31
	训练后	300	144.18 ± 8.89 ^a	4.15 ± 0.62 ^a	98.42 ± 4.24 ^a	95.88 ± 21.06 ^a	38.03 ± 1.05 ^a
B 组	训练前	300	152.74 ± 1.90	4.45 ± 0.46	103.42 ± 1.72	69.50 ± 8.03	37.13 ± 0.30
	训练后	300	144.04 ± 9.39 ^a	4.13 ± 0.51 ^a	98.41 ± 4.58 ^a	96.59 ± 22.04 ^a	38.10 ± 1.04 ^a
C 组	训练前	300	152.66 ± 1.81	4.43 ± 0.44	103.30 ± 1.57	69.81 ± 8.68	37.15 ± 0.27
	训练后	300	150.14 ± 3.86 ^{ab}	4.32 ± 0.57 ^{ab}	100.43 ± 3.71 ^{ab}	87.01 ± 17.07 ^{ab}	37.73 ± 0.81 ^{ab}

注: A 组为饮用白开水组, B 组为饮用纯净水组, C 组为饮用医院制剂室配制饮料 (100 mL 含碳水化合物 6 g、钠 42 mg、钾 11 mg) 组; HR 为心率, Tc 为核心温度; 与本组训练前比较, ^a $P < 0.01$; 与 A 组和 B 组同期比较, ^b $P < 0.01$

表 1 5 km 武装越野训练期间补充不同液体 3 组官兵训练前后心、肝、肾功能变化比较 [$M(Q_L, Q_U)$ 或 $\bar{x} \pm s$]

组别	时间	例数 (例)	cTnI (μg/L)	CK-MB (U/L)	SCr (μmol/L)	BUN (mmol/L)	ALT (U/L)	AST (U/L)
A 组	训练前	300	0.7 (0.5, 0.9)	6.0 (4.0, 7.0)	82.47 ± 14.76	5 (4, 6)	25 (17, 32)	26 (24, 32)
	训练后	300	1.1 (0.7, 2.8) ^a	9.0 (6.0, 14.5) ^a	102.78 ± 18.77 ^a	9 (8, 11) ^a	36 (30, 43) ^a	41 (34, 50) ^a
B 组	训练前	300	0.7 (0.5, 0.9)	6.0 (4.0, 7.0)	82.40 ± 13.20	5 (4, 6)	25 (17, 31)	26 (23, 32)
	训练后	300	1.0 (0.6, 3.3) ^a	8.0 (6.0, 15.0) ^a	103.64 ± 20.07 ^a	10 (8, 13) ^a	34 (27, 43) ^a	39 (34, 51) ^a
C 组	训练前	300	0.7 (0.5, 0.9)	6.0 (4.0, 7.0)	82.56 ± 13.50	5 (4, 6)	24 (17, 30)	26 (22, 32)
	训练后	300	0.9 (0.6, 1.4) ^{ab}	7.0 (5.0, 11.0) ^{ab}	92.09 ± 18.64 ^{ab}	7 (6, 9) ^{ab}	27 (22, 34) ^{ab}	37 (31, 48) ^{ab}

注: A 组为饮用白开水组, B 组为饮用纯净水组, C 组为饮用医院制剂室配制饮料 (100 mL 含碳水化合物 6 g、钠 42 mg、钾 11 mg) 组; cTnI 为心肌钙蛋白 I, CK-MB 为肌酸激酶同工酶, SCr 为血肌酐, BUN 为尿素氮, ALT 为丙氨酸转氨酶, AST 为天冬氨酸转氨酶; 与本组训练前比较, ^a $P < 0.01$; 与 A 组和 B 组同期比较, ^b $P < 0.01$

2.4 二分类 Logistic 回归分析重症中暑危险因素(表3):以是否发生重症中暑(是=1,否=0)作为因变量,以5 km 武装越野训练后血清 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 含量、HR、Tc 为协变量,进行二分类 Logistic 回归分析,结果显示,HR、Tc 的提高及 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 的过度丢失是参加5 km 武装越野训练后发生重症中暑的影响因素(均 $P < 0.01$)。

表3 参加5 km 武装越野训练官兵发生重症中暑危险因素的二分类 Logistic 回归分析

指标	β 值	s_e	χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
Na^+	0.448	0.076	35.063	0.000	1.565	1.349 ~ 1.815
K^+	2.890	0.440	41.342	0.000	17.996	1.457 ~ 43.450
Cl^-	0.845	0.106	61.402	0.000	2.328	1.891 ~ 3.872
HR	0.165	0.061	64.877	0.000	0.848	0.814 ~ 0.822
Tc	1.983	0.207	92.195	0.000	0.138	0.090 ~ 0.206

注:HR 为心率,Tc 为核心温度,OR 为优势比,95%CI 为95%可信区间

2.5 重症中暑发生情况:5 km 武装越野训练中共发生重症中暑31例,发生率为3.44%;其中A组发生15例,发生率为5.00%;B组发生16例,发生率为5.33%;C组发生5例,发生率为1.67%。C组重症中暑发生率显著低于A组和B组($\chi^2=6.424, P=0.040$),而A组与B组比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。

3 讨论

中暑是在高温高湿和无风环境下,以机体体温调节中枢功能障碍、汗腺功能衰竭、水和电解质丧失过多为特征的疾病^[7]。排汗为机体释放热量、调节体温的一种重要途径^[8-10]。在热环境中进行5 km 武装越野训练时,体内各种激素分泌增加,人体产热也随之增加,使体温升高。为了让Tc保持稳定,机体会通过排汗来散热。5 km 武装越野训练频率越高、周期越长,体温持续升高,需要散热的汗水也就越来越多。随着机体排汗量的增大和水分的丢失,某些电解质成分也会随之排出体外^[11-13],具有重要生理作用的金属离子如 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 等缺失,使细胞中一系列生理活动如生物信号转导、能量代谢、细胞运动等严重紊乱^[14],导致内环境急剧恶化,器官及组织不能正常代谢,从而导致机体内环境失衡,代谢产物堆积及酸中毒,进一步加重组织及内环境失衡,造成恶性循环,引起重症中暑,甚至并发多器官功能障碍综合征(MODS),导致5 km 武装越野训练者血清 cTnI、CK-MB、SCr、BUN、ALT、AST 水平升高。同时排汗、呼吸道丢失水分也可引起水盐丢失,水盐代谢紊乱,热调节功能受损,导致Tc升

高,HR 增快。HR 变化与重症中暑密切相关^[15-16],HR 越快,单位时间内的心肌耗氧量越多;HR 增快导致舒张期时间大幅度减少,冠状动脉灌注及心肌氧供明显下降,使冠状动脉发生病理性改变,最终影响心肌氧供^[17],导致心肌受损。当HR 超过180次/min时,心排血量下降,心肌组织缺血缺氧,导致机体其他器官功能受损,引起重症中暑。Tc 过度升高,意味着重症中暑发生率也相对升高。二分类 Logistic 回归分析显示,HR、Tc 的提高及 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 的过度丢失是重症中暑发生的危险因素。

随着5 km 武装越野训练频率的增加、周期的延长,机体排汗量增大和水分丢失,造成血中 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 含量降低。由于白开水及纯净水中含矿物质甚少,甚至不含任何矿物质,故5 km 武装越野训练时饮用白开水及纯净水者容易形成稀释性低血钠、低血钾、低血氯。 Na^+ 、 Cl^- 主要在细胞外液,血清 Na^+ 降低,导致细胞外液渗透压降低,水移入细胞内而致心、肝、肾等各器官组织细胞水肿,引起功能障碍。血清 K^+ 、 Na^+ 和 Cl^- 含量越低,引起心、肝、肾等各器官功能障碍的可能性越大,血清中 cTnI、CK-MB、SCr、BUN、ALT、AST 水平也相对升高。研究表明,HR、Tc、出汗量和出汗率是机体热调节反应的重要生理学指标^[18-21]。血清 K^+ 水平失衡,会打破机体酸碱平衡,诱导心肌毒性作用,出现传导阻滞及节律异常等心律失常症状^[22],不但心功能受损,也可引起HR 增快。C组补充碳水化合物,一方面延长了热负荷运动时间、以及机体汗腺功能和体液调节激素介导对 K^+ 、 Na^+ 和 Cl^- 的重吸收变化,又及时补充了丢失的体液及电解质,使循环血量保持在正常生理范围,有利于将机体产生的热量随血液循环带到体表散发,对体温调节产生良性作用,从而使长时间进行5 km 武装越野训练时,机体产热量不多;另一方面能够充分满足机体对此刻的能量需求,维持良好的运动状态^[23],机体产热速度减慢。与A组和B组比较,C组由于碳水化合物、钠、钾的及时补充,使官兵5 km 武装越野训练后重症中暑发生率及血清中 cTnI、CK-MB、SCr、BUN、ALT、AST 水平显著降低,血清 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 含量显著升高,HR 和 Tc 均明显降低,但对训练中出汗量无影响。

综上所述,5 km 武装越野训练时及时补充碳水化合物、钠及钾,不仅可及时补充越野训练时丢失的体液及电解质,而且保护了心、肝、肾等器官功能,使HR、Tc 及重症中暑发生率显著降低。HR、Tc

的提高及 Na⁺、K⁺、Cl⁻ 的过度丢失是发生重症中暑的危险因素。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 彭娜, 耿焱, 张爽, 等. 重症中暑大鼠肾损伤与炎症反应的关系[J]. 中华危重病急救医学, 2015, 27 (5): 327-331. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2015.05.002.
Peng N, Geng Y, Zhang S, et al. Correlation of kidney injury and inflammatory response in rats with classic severe heatstroke [J]. Chin Crit Care Med, 2015, 27 (5): 327-331. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2015.05.002.
- [2] Missel B, De Jonghe B, Bastuji-Garin S, et al. Mortality of patients with heatstroke admitted to intensive care units during the 2003 heat wave in France: a national multiple-center risk-factor study [J]. Crit Care Med, 2006, 34 (4): 1087-1092. DOI: 10.1097/01.CCM.0000206469.33615.02.
- [3] 李庆华, 宋青, 孙荣青, 等. 生理指标变化与 5 km 武装越野训练致重症中暑的关系[J]. 中华危重病急救医学, 2018, 30 (7): 681-685. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.07.013.
Li QH, Song Q, Sun RQ, et al. Relationship between physiological parameters changes and severe heatstroke induced by 5-km armed cross-country training [J]. Chin Crit Care Med, 2018, 30 (7): 681-685. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.07.013.
- [4] 吴卫兵, 王人卫, 李国强. 补液对热湿环境下运动机体热调节反应及体液调节激素的影响[J]. 武汉体育学院学报, 2014, 48 (7): 65-70. DOI: 10.3969/j.issn.1000-520X.2014.07.012.
Wu WB, Wang RW, Li GQ. Effect of liquid supplement on thermoregulation responses and fluid regulation hormones of athletes in humid heat environment [J]. J Wuhan Institute Physical Education, 2014, 48 (7): 65-70. DOI: 10.3969/j.issn.1000-520X.2014.07.012.
- [5] 吴潇男, 林建棣, 曲平, 等. 湿热环境下运动对汗液中尿素、乳酸和电解质的影响[J]. 武警医学, 2012, 23 (1): 8-10. DOI: 10.3969/j.issn.1004-3594.2012.01.003.
Wu XN, Lin JD, Qu P, et al. Effects of exercise on urea, lactic acid and electrolytes in human body sweat in humid heat environment [J]. Med J Chin PAPF, 2012, 23 (1): 8-10. DOI: 10.3969/j.issn.1004-3594.2012.01.003.
- [6] 全军重症医学专业委员会. 热射病规范化诊断与治疗专家共识(草案)[J]. 解放军医学杂志, 2015, 40 (1): 1-7. DOI: 10.11855/j.issn.0577-7402.2015.01.01.
Military Committee of Specialists in Severe Medicine. Expert consensus on standardized diagnosis and treatment of thermoneuclear disease (draft) [J]. Med J Chin PLA, 2015, 40 (1): 1-7. DOI: 10.11855/j.issn.0577-7402.2015.01.01.
- [7] 魏捷, 杜贤进, 晏晨, 等. 改良早期预警评分在中暑患者病情及预后评估中的应用[J]. 中华急诊医学杂志, 2017, 26 (8): 914-918. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2017.08.017.
Wei J, Du XJ, Yan C, et al. The value of modified early warning score in severity assessment and prognosis prediction of heat stroke patients [J]. Chin J Emerg Med, 2017, 26 (8): 914-918. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2017.08.017.
- [8] Strasser A, Skalicky M, Hansalik M, et al. The impact of environment in comparison with moderate physical exercise and dietary restriction on BDNF in the cerebral parietotemporal cortex of aged Sprague-Dawley rats [J]. Gerontology, 2006, 52 (6): 377-381. DOI: 10.1159/000095117.
- [9] Döbrössy MD, Dunnitt SB. Morphological and cellular changes within embryonic striatal grafts associated with enriched environment and involuntary exercise [J]. Eur J Neurosci, 2006, 24 (11): 3223-3233. DOI: 10.1111/j.1460-9568.2006.05182.x.
- [10] Wright GA, Grandjean PW, Pascoe DD. The effects of creatine loading on thermoregulation and intermittent sprint exercise performance in a hot humid environment [J]. J Strength Cond Res, 2007, 21 (3): 655-660. DOI: 10.1519/R-22186.1.
- [11] 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. DOI: 10.15942/j.jcsu.2016.03.022.
Hou XH, Wang RW, Wu WB, et al. The greco-roman wrestling athletes' heat adjustment in hot and humid environment and the effect of rehydration [J]. J Chengdu Sport Univ, 2016, 42 (3): 122-126. DOI: 10.15942/j.jcsu.2016.03.022.
- [12] 吴卫兵, 王人卫, 许弟群. 中长跑运动员 10 天热适应过程中机体热调节反应及 HSP₇₀ 变化[J]. 体育科学, 2013, 33 (9): 46-51.
Wu WB, Wang RW, Xu DQ. Changes of thermoregulatory responses and HSP₇₀ in 10-day heat acclimation of middle-long-distance runners [J]. China Sport Science, 2013, 33 (9): 46-51.
- [13] 许琴, 董翔, 周娇, 等. 姜黄素预处理对沙漠干热环境中暑大鼠血清及尿液电解质的影响[J]. 实验动物科学, 2017, 34 (1): 11-15. DOI: 10.3969/j.issn.1006-6179.2017.01.003.
Xu Q, Dong X, Zhou J, et al. Effect of curcumin pretreatment on serum and urine electrolytes in desert environment heat stroke rats [J]. Lab Animal Sci, 2017, 34 (1): 11-15. DOI: 10.3969/j.issn.1006-6179.2017.01.003.
- [14] 吴潇男, 杜军. 湿热环境对机体的影响及热习服建立的研究进展[J]. 实用医药杂志, 2015, 32 (9): 775-780.
Wu XN, Du J. The research for the impact of hot and humid environment on physiology and biochemistry status of human body as well as the establishment of heat acclimatization [J]. Pract J Med Pharm, 2015, 32 (9): 775-780.
- [15] 宁波, 宋青, 陈自力. 湿热气候军事训练预防中暑保障体会[J]. 空军医学杂志, 2018, 34 (1): 16-18. DOI: 10.3969/j.issn.2095-3402.2018.01.005.
Ning B, Song Q, Chen ZL. Experience from heatstroke prevention during summer military training [J]. Med J Air Force, 2018, 34 (1): 16-18. DOI: 10.3969/j.issn.2095-3402.2018.01.005.
- [16] 崔玉娟, 吴学宁, 崔英凯, 等. 高温高强度训练对作战训练人员心脏的影响[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2016, 8 (11): 1313-1315. DOI: 10.3969/j.issn.1674-4055.2016.11.08.
Cui YJ, Wu XN, Cui YK, et al. Influence of high temperature and high intensity training on heart in personnel with combat drill [J]. Chin J Evid Based Cardiovasc Med, 2016, 8 (11): 1313-1315. DOI: 10.3969/j.issn.1674-4055.2016.11.08.
- [17] 郑宏健, 卢新政. 心率增快的心血管病理生理学进展[J]. 心血管病学进展, 2011, 32 (5): 699-702.
Zheng HJ, Lu XZ. Elevated heart rate in cardiovascular physiology progress [J]. Adv Cardiovasc Dis, 2011, 32 (5): 699-702.
- [18] Burk A, Timpmann S, Kreegipuu K, et al. Effects of heat acclimation on endurance capacity and prolactin response to exercise in the heat [J]. Eur J Appl Physiol, 2012, 112 (12): 4091-4101. DOI: 10.1007/s00421-012-2371-3.
- [19] Fujii N, Honda Y, Ogawa T, et al. Short-term exercise-heat acclimation enhances skin vasodilation but not hyperthermic hyperpnea in humans exercising in a hot environment [J]. Eur J Appl Physiol, 2012, 112 (1): 295-307. DOI: 10.1007/s00421-011-1980-6.
- [20] Garrett AT, Creasy R, Rehner NJ, et al. Effectiveness of short-term heat acclimation for highly trained athletes [J]. Eur J Appl Physiol, 2012, 112 (5): 1827-1837. DOI: 10.1007/s00421-011-2153-3.
- [21] Kenefick RW, Cheuvront SN, Elliott LD, et al. Biological and analytical variation of the human sweating response: implications for study design and analysis [J]. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 2012, 302 (2): R252-258. DOI: 10.1152/ajpregu.00456.2011.
- [22] 李雯, 高飞, 李富强, 等. 低钾血症致心律失常 60 例临床分析[J]. 海南医学, 2015, 26 (4): 578-579, 580. DOI: 10.3969/j.issn.1003-6350.2015.04.0209.
Li W, Gao F, Li FQ, et al. Clinical analysis of 60 cases of arrhythmias induced by hypokalemia [J]. Hainan Med J, 2015, 26 (4): 578-579, 580. DOI: 10.3969/j.issn.1003-6350.2015.04.0209.
- [23] 桂墨环, 孙风华, 姒刚彦, 等. 运动中补充不同饮料对女子马拉松运动员运动成绩和生理机能影响[J]. 中国运动医学杂志, 2017, 36 (3): 226-231. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6710.2017.03.007.
Gui ZH, Sun FH, Si GY, et al. Effects of different beverages consumption on 21 km running performance and physiological functions in female recreational marathon runners [J]. Chin J Sports Med, 2017, 36 (3): 226-231. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6710.2017.03.007.

(收稿日期: 2019-03-20)