DOI:10.16016/j.2097-0927.202302047

高温高湿环境下军事训练致新兵横纹肌溶解及相关脏器损伤的研究

沈 建[1,5],张 昕[1],刘赫男[2],周伯宁[1],李 影[1],焦 阳[1],刘 冰[3],郑小来[4],付振虹[1] 100853 北京,解放军医学院 解放军总医院第六医学中心心血管病医学部[1];100034 北京,中国人民解放军第三〇五医院心血管内科[2];264299 山东 威海,中国人民解放军第九七〇医院心血管内科[3];735199 甘肃 嘉峪关,甘肃省嘉峪关市中医院心血管内科[4];101149 北京,通州离职干部休养所门诊部[5]

[摘要] **目的** 通过比较不同训练环境对新兵实验室检测指标及心电图的影响,探讨新兵在高温高湿环境下出现横纹肌溶解和相关脏器损伤的可能性。**方法** 选择两地新兵500名,均为男性,年龄(21.36±2.59)岁,按新兵所在环境分为常规环境组(北京某部,$n=250$)和高温高湿环境组(海南某部,$n=250$)。进行相同科目训练后4周,采集新兵的一般情况、训练前后血液及尿液学指标、心电图检查相关指标,并进行统计学分析。**结果** 高温高湿环境组炎症反应、心肌损伤、肌肉损伤、肝损伤、肾损伤的发生率分别为45.76%、3.39%、12.71%、25.42%、12.71%,较常规环境组显著增加($P<0.05$)。高温高湿环境组新兵窦性心动过缓、房性早搏、非特异ST-T变化、左室高电压、短PR间期的发生率分别为6.78%、5.93%、8.47%、6.78%、2.54%,显著高于常规环境组($P<0.05$)。**结论** 高温高湿环境下新兵军事训练后更易出现炎性反应、心肌损伤、肌肉损伤、肝损伤、肾损伤以及心电异常。

[关键词] 军事训练;高温;高湿;横纹肌溶解;脏器损伤;心电图异常
[中图法分类号] R337.52;R685.5;R821.2 [文献标志码] A

Rhabdomyolysis and related organ damage in new recruits during military training under high temperature and humidity environment

SHEN Jian[1,5], ZHANG Xin[1], LIU Henan[2], ZHOU Boning[1], LI Ying[1], JIAO Yang[1], LIU Bing[3], ZHENG Xiaolai[4], FU Zhenhong[1] [1]Department of Cardiology, the Sixth Medical Center, Chinese PLA General Hospital and Chinese PLA Medical School, Beijing, 100853; [2]Department of Cardiology, No. 305 Hospital of PLA, Beijing, 100034; [3]Department of Cardiology, No. 970 Hospital of PLA, Weihai, Shandong Province, 264299; [4]Department of Cardiology, Jiayuguan Hospital of Traditional Chinese Medicine, Jiayuguan, Gansu Province, 735199; [5]Outpatient Department of Tongzhou Retired Cadres Rest Center, Beijing, 101149, China

[**Abstract**] **Objective** To explore the possibility of rhabdomyolysis and related organ damage in new recruits training in high temperature and high humidity environment by comparing the effects of different training environments on the laboratory indicators and electrocardiogram. **Methods** A total of 250 new recruits from a unit in Beijing and another 250 ones from a unit in Hainan were recruited and assigned into conventional environment group and high temperature and high humidity environment group, respectively. All of them were male, with an average age of 21.36±2.59 years. Before and in 4 weeks after training in the same subjects, their general information, blood and urine indicators, and electrocardiogram were collected. All data were statistically analyzed. **Results** The incidences of inflammatory reaction, myocardial injury, muscle injury, liver injury, and kidney injury were 45.76%, 3.39%, 12.71%, 25.42%, and 12.71%, respectively, in the high temperature and high humidity environment group, which were all significantly higher

[基金项目] 解放军总医院青年成长项目(QNC19004)
[通信作者] 付振虹,E-mail:fuzhenh@126.com

2097-0927/Copyright © 2024, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

than those in the conventional environment group ($P<0.05$). The former group had an incidence rate of 6.78%, 5.93%, 8.47%, 6.78%, and 2.54%, respectively, in sinus bradycardia, atrial premature beats, unspecific ST-T changes, left ventricular hypertension and short PR interval, and all of the rates were higher than those of the conventional environment group ($P<0.05$). **Conclusion** The incidences of inflammatory reaction, myocardial injury, muscle injury, liver injury, kidney injury, and ECG abnormalities are more common in new recruits after military training in high temperature and high humidity environment.

[**Key words**] military training; high temperature; high humidity; rhabdomyolysis; organ damage; abnormal electrocardiogram

Supported by the Youth Growth Project of Chinese PLA General Hospital (QNC19004). Corresponding author: FU Zhenhong, E-mail: fuzhenh@126.com

横纹肌溶解症(rhabdomyolysis,RM)是指各种原因引起的横纹肌细胞受损后,细胞膜破坏,细胞内容物(如酶类、钾、磷、肌酐和肌球蛋白)释放入循环血液中所引起的临床综合征。肌酸激酶(creatine kinase,CK)升高大于或等于基线的5倍(>1 000 U/L),并与运动或体育锻炼引起的肌肉损伤相关[1]。临床表现为肌痛、肿胀、无力、棕色尿。体格检查发现肌肉肿胀、紧张度增高及局部有瘀血、瘀斑。实验室检查表现为血清肌酸激酶明显升高,血清肌球蛋白增高,尿蛋白或尿潜血阳性。当肌肉细胞能量代谢障碍细胞内钙离子增加,导致骨骼肌细胞死亡,细胞壁破裂和细胞内容物释放[2-3]。电解质紊乱易合并急性肾损伤,心肌损伤及心律失常[4]。

美军的一项研究显示,横纹肌溶解的发病率是42/10万,其中海军陆战队成员发病率较高,陆军居中,空军和海军发病率最低[5-6]。研究指出新兵训练或海军陆战队训练时易发生,特别是在炎热、潮湿环境中运动容易诱发。目前我军特殊环境下的军事训练致横纹肌溶解的研究仍然较少,继发的重要脏器损伤报道多局限于肾脏,其他脏器损伤及心律失常等鲜见报道。本研究拟通过流行病学调查,从不同军事训练环境入手,探究高温高湿环境下新兵发生横纹肌溶解和继发炎症反应、心肌损伤、肌肉损伤、肝损伤、肾脏损伤和心电异常情况,为现代高强度军事训练伤的防治提供新的策略。

1 资料与方法

1.1 研究对象

根据研究目的选择北京某部新兵(常规环境组)和海南某部新兵(高温高湿环境组)各250名,均为健康男性,年龄(21.36±2.59)岁,其中常规环境组和高温高湿环境组分别有10名和14名未填写调查问卷或未参加抽血,最后常规环境组和高温高湿环境组实际完成人数分别有240名和236名。本研究经解放军总医院伦理委员会批准(S2021-080-02),全部人员签署知情同意书。

1.2 训练环境和训练内容

根据气候特征及既往研究标准定义,"高温高湿环境"是指训练时室外气温≥30 ℃,室外相对湿度≥80%的环境条件;"常规环境"是指训练时室外气温15~20 ℃,室外的相对湿度≤60%的环境条件。北京地区属于暖温带半湿润半干旱季风气候,符合常规环境;而海南属于热带海洋气候,符合高温高湿环境。军事训练内容严格按照《新兵军事训练大纲》和《军事体育训练大纲》内容确定,2组训练内容和训练强度一致。

1.3 调查内容和指标定义

调查问卷内容包括调查对象的一般情况(年龄、身高、体质量、病史等)。训练开始前,对所有研究对象进行生命体征检测、抽取清晨空腹静脉血、留取中段清洁尿标本和12导联心电图检查,实验室指标包括血常规、C反应蛋白(C-reactive protein,CRP)、血糖、肌钙蛋白(cardial troponin T,cTnT)、肌酸激酶(CK)、肌酸激酶同工酶(creatine kinase isoenzymes,CK-MB)、乳酸脱氢酶(lactate dehydrogenase,LDH)、肌红蛋白(myoglobin,Mb)、谷丙转氨酶(alanine aminotransferase,ALT)、谷草转氨酶(aspartate aminotransferase,AST)、电解质、肌酐(creatinine,Cr)、尿素氮(blood urea nitrogen,BUN),尿液指标包括尿微量白蛋白/肌酐(urinary albumin/creatinine ratio,UACR)和尿常规。在训练4周后,再次完成新兵生命体征、血液学及尿液学指标以及12导联心电图的数据采集。

血清CK水平超过正常上限的5倍(1 000 U/L)可诊断为横纹肌溶解发生。为更好衡量脏器损伤的程度,将反映同一脏器功能的实验室指标进行疾病分类,定义炎症反应异常指标包括白细胞、淋巴细胞、中性粒细胞及CRP,心肌损伤指标包括cTnT,肌肉损伤指标包括CK、CK-MB、LDH及Mb,肝脏损伤指标包括ALT及AST,肾损伤的相关指标包括Cr、BUN及UACR。根据患者的心电图检查结果,判断心电异常的类型。

1.4 统计学分析

采用SPSS 26.0软件进行统计学分析,符合正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,采用独立样本的 t 检验;符合偏态分布的计量资料以中位数和四分位数[$M(P_{25}, P_{75})$]表示,采用独立样本的秩和检验;计数资料以频数或构成比表示,采用 χ^2 检验。$P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 高温高湿环境下新兵横纹肌溶解及相关脏器损伤发生率更高

2.1.1 2组新兵一般情况及实验室指标比较 训练前2组新兵的基线资料差异无统计学意义。经过4周相同科目军事训练后,再次收集新兵生命体征、血液及尿液检测指标,结果显示,高温高湿环境组新兵的CRP、LDH、Mb、AST数值较常规环境组有所上升,且差异有统计学意义($P<0.05$,表1)。

2.1.2 新兵不同脏器损伤的发生情况 将反映不同脏器损伤的相关指标出现异常值定义为新发阳性指标,并统计其发生的频数。结果显示,高温高湿环境组中性粒细胞比例异常、CRP异常、cTnT异常、CK异常、CKMB异常、LDH异常、Mb异常、ALT异常、AST异常、Cr异常、BUN异常、UACR异常的发生频率均高于常规环境组,且差异具有统计学意义($P<0.05$,表2)。

表1 2组新兵基线资料及训练后实验室检测结果比较[$\bar{x}\pm s$,$M(P_{25},P_{75})$,例(%)]

指标	常规环境组($n=240$)	高温高湿环境组($n=236$)	P值
基本情况			
BMI/(kg/m^2)	22.86±3.84	22.33±3.14	0.242
脉搏/(次/min)	75.75±8.45	74.98±7.95	0.476
心率/(次/min)	75.36±8.48	74.42±7.83	0.373
收缩压/mmHg	123.51±7.29	122.52±7.31	0.298
舒张压/mmHg	69.87±5.66	71.00±6.30	0.150
实验室指标			
血红蛋白/(g/L)	156.95±10.07	158.12±10.24	0.377
红细胞计数/(×10^{12}/L)	5.12±0.38	5.16±0.37	0.417
血小板计数/(×10^9/L)	254.38±48.76	251.01±48.96	0.429
白细胞计数/(×10^9/L)	6.88±1.95	7.19±2.06	0.242
淋巴细胞比例/%	29.96±6.28	29.56±7.38	0.662
中性粒细胞比例/%	60.93±6.77	62.05±8.00	0.248
CRP/(mg/L)	0.40(0.23,0.68)	0.56(0.28,0.80)	0.006
血糖/(mmol/L)	4.72±0.39	4.67±0.37	0.338
cTnT/(ng/mL)	0.05(0.03,0.07)	0.05(0.03,0.08)	0.285
CK/(U/L)	98.20(56.60,147.10)	111.75(39.20,177.53)	0.500
CKMB/(ng/mL)	1.97(0.98,3.13)	2.19(1.09,3.35)	0.335
LDH/(U/L)	157.25(97.33,194.83)	173.80(121.75,216.85)	0.039
Mb/(ng/mL)	30.05(18.35,45.73)	38.30(21.48,51.25)	0.011
ALT/(U/L)	22.10(17.03,30.95)	23.50(16.90,40.38)	0.154
AST/(U/L)	23.40(14.40,32.83)	26.85(16.60,37.73)	0.049
血钾/(mmol/L)	4.56±0.78	4.53±0.68	0.783
血氯/(mmol/L)	102.93±3.97	102.69±4.45	0.660
血钠/(mmol/L)	141.59±4.79	142.51±4.77	0.143
Cr/(μmol/L)	78.62±7.86	79.46±11.87	0.521
BUN/(mmol/L)	5.49±3.71	5.27±1.33	0.534
UACR/(mg/g)	20.50(11.75,28.25)	18.00(11.00,27.00)	0.331
尿潜血	6(2.50)	14(5.93)	0.062
尿酮体	14(5.83)	8(3.39)	0.204
尿红细胞	4(1.67)	10(4.24)	0.097

表 2 2 组新兵训练后不同损伤相关指标的检测结果比较 [例(%)]

指标	常规环境组(n=240)	高温高湿环境组(n=236)	P 值
炎症指标			
白细胞异常	12 (5.00)	22 (9.32)	0.067
淋巴细胞比例异常	12 (5.00)	20 (8.47)	0.130
中性粒细胞比例异常	16 (6.67)	36 (15.25)	0.003
CRP 异常	22 (9.17)	58 (24.58)	<0.001
心肌损伤指标			
cTnT 异常	0 (0.00)	8 (3.39)	0.012
肌肉损伤指标			
CK 异常	10 (4.17)	28 (11.86)	0.002
CKMB 异常	8 (3.33)	24 (10.17)	0.003
LDH 异常	10 (4.17)	24 (10.17)	0.011
Mb 异常	2 (0.83)	12 (5.08)	0.006
肝脏损伤指标			
ALT 异常	18 (7.50)	58 (24.58)	<0.001
AST 异常	14 (5.83)	44 (18.64)	<0.001
肾脏损伤指标			
Cr 异常	0 (0.00)	8 (3.39)	0.012
BUN 异常	6 (2.50)	16 (6.78)	0.026
UACR 异常	2 (0.83)	10 (4.24)	0.018

2.1.3 新兵横纹肌溶解及相关脏器损伤的发生情况

进一步将反映同一脏器损伤的指标进行归类,分析高温高湿环境下训练后新兵横纹肌溶解及脏器损伤的发生率。考虑同一观察对象可能存在 1 项或多项反映相同脏器损伤的指标异常,因此需要重新计数,结果见表 3。高温高湿环境组出现炎症反应、心肌损伤、肌肉损伤、肝损伤、肾损伤的人数较常规环境组明显增多(P<0.05);2 组横纹肌溶解的发生率差异无统计学意义。

表 3 2 组新兵训练后横纹肌溶解及相关脏器损伤的发生情况 [例(%)]

指标	常规环境组(n=240)	高温高湿环境组(n=236)	P 值
横纹肌溶解	0 (0.00)	4 (1.69)	0.128
炎性反应	46 (19.17)	108 (45.76)	<0.001
心肌损伤	0 (0.00)	8 (3.39)	0.012
肌肉损伤	16 (6.67)	30 (12.71)	0.026
肝损伤	18 (7.50)	60 (25.42)	<0.001
肾损伤	8 (3.33)	30 (12.71)	<0.001

2.2 高温高湿环境下新兵心电图异常发生率更高

训练后新兵的心电图在不同训练环境下存在差异。结果显示,窦性心律不齐是新兵训练最常见的心电图异常。与常规环境组相比,高温高湿环境组新兵发生窦性心动过缓、房性早搏、非特异 ST-T 变化、左室高电压和短 PR 间期的人数明显增多,且差异有统计学意义(P<0.05,表 4)。

表 4 2 组新兵训练后心电图异常情况比较 [例(%)]

异常情况	常规环境组(n=240)	高温高湿环境组(n=236)	P 值
窦性心律不齐	20 (8.33)	32 (13.56)	0.068
窦性心动过缓	6 (2.50)	16(6.78)	0.026
窦性心动过速	2 (0.83)	4 (1.69)	0.666
房性早搏	4 (1.67)	14 (5.93	0.015
室性早搏	2 (0.83)	6 (2.54)	0.274
非特异 ST-T 变化	8 (3.33)	20 (8.47)	0.017
左室高电压	6 (2.50)	16 (6.78)	0.026
短 PR 间期	0 (0.00)	6 (2.54)	0.038
早期复极化	8 (3.33)	6 (2.54)	0.610
房室传导阻滞	2 (0.83)	2 (0.85)	1.000

3 讨论

我国幅员辽阔,地形地势复杂,阐明不同环境下军事训练潜在的训练伤并探讨可能的防治策略意义重大。有研究表明,既往有热损伤的军人被诊断为横纹肌溶解的可能性更大[7]。小样本研究表明中暑和横纹肌溶解存在一定程度的并行关系[8-10]。本研究作为一项前瞻性队列研究,纳入了不同气候条件下军事训练的 500 名新兵作为研究对象,重点关注高温高湿环境对新兵军事训练后横纹肌溶解及相关脏器功能的影响。结果显示,高温高湿环境下新兵进行军事训练后横纹肌溶解发生率有增高趋势,心脏、肌肉、肝肾损伤的比例增高。本研究提示军队有关部门需更加重视新兵在特殊环境下的军事训练伤情况。

研究显示,现阶段我国青年平均运动时间和运动强度明显下降[11]。新兵作为一类特殊群体,需要接受长时间、高强度、持续性的军事训练。由于大部分新兵既往未接受过规范训练,其身体机能和意志水平将面临严峻挑战,更容易出现训练相关损伤,造成非战斗减员。因此,以新兵作为研究对象,研究训练相关损伤具有重要科学价值。本研究中选用反映不同脏器损伤的相关指标异常发生频率比较 2 组人员训练伤发生的差异,具有重要的临床意义。考虑到 CRP 等指标呈偏态分布的特性,对这些指标进行分类汇总,发现 2 组各指标出现异常的差异具有统计学意义。同时,考虑到反映相同脏器损伤的指标在同一个体可能重复出现,进一步对数据进行整合,发现在高温高湿环境下新兵出现炎性反应、心肌损伤、肌肉损伤、肝损伤、肾损伤的比例增加。既往研究报道,运动或训练后横纹肌溶解最容易继发肾脏损伤[12-13],本研究结果显示炎症指标异

常的比例最高,肝功能指标异常的比例列第2,肾功能指标异常的比例仅位于第3位。结果提示炎症指标和肝功能指标在训练后更敏感,早期更容易发生变化,临床医生,特别是基层军医要重视这一现象,更早地给予干预,防止重要脏器损伤。

LUETMER 等[8]发现有部分患者发生横纹肌溶解后出现轻微心电图异常,但并未指出心电异常的类型。本研究进一步探究了高温高湿环境下军事训练后新兵心电的变化情况。结果显示窦性心动过缓、房性早搏、非特异 ST-T 变化、左室高电压和短 PR 间期的人数明显增多。可能的机制是高温环境下,大量出汗导致低钠血症,严重者可出现低钾血症,电解质紊乱影响了心肌细胞的电生理功能,从而表现出不同类型的心电异常。

本研究关注高温高湿环境下军事训练对新兵炎症和不同脏器受损指标的影响,同时对比了心电图的变化,尽管出现较为明显的指标差异,但在训练过程中,新兵未出现严重的临床症状和住院等严重训练伤,指标的异常早于临床疾病,提示早期识别异常个体,给予科学干预,合理安排军事训练时间以及训练强度十分必要。

本研究存在一些不足之处:①本研究仅关注了高温高湿环境下军事训练后新兵重要脏器损伤相关的指标的变化趋势,没有进行随访,后续需要进一步关注指标异常人群长期的预后。②高温高环境下新兵横纹肌溶解的趋势增加,未提出进一步的防治措施。在今后的研究中,我们将进一步探索安全有效的干预措施,为军事训练伤的防治提供更好的策略。

参考文献:

[1] MAO H D, LI X, LIU S Y, *et al*. Exertional rhabdomyolysis in newly enrolled cadets of a military academy[J]. Muscle Nerve, 2021, 64(3): 336-341. DOI: 10.1002/mus.27355.

[2] KIM J, LEE J, KIM S, *et al*. Exercise-induced rhabdomyolysis mechanisms and prevention: a literature review[J]. J Sport Health Sci, 2016, 5(3): 324-333. DOI: 10.1016/j.jshs.2015.01.012.

[3] CARNEIRO A, VIANA-GOMES D, MACEDO-DA-SILVA J, *et al*. Risk factors and future directions for preventing and diagnosing exertional rhabdomyolysis[J]. Neuromuscul Disord, 2021, 31(7): 583-595. DOI: 10.1016/j.nmd.2021.04.007.

[4] 王劭亮, 陈蓉, 王明欢. 运动性横纹肌溶解症37例诊治分析[J]. 中华临床医师杂志(电子版), 2020, 14(1): 35-38. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-0785.2020.01.008.
WANG S L, CHEN R, WANG M H. Diagnosis and treatment of 37 cases of athletic rhabdomyolysis[J]. Chin J Clinicians (Elec Ed), 2020, 14(1): 35-38. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-0785.2020.01.008.

[5] Update: exertional rhabdomyolysis, active component, U.S. armed forces, 2014-2018[J]. MSMR, 2019, 26(4): 21-25.

[6] EICHNER E R. Exertional rhabdomyolysis in civilian and military populations[J]. Curr Sports Med Rep, 2020, 19(3): 99-100. DOI: 10.1249/jsr.0000000000000690.

[7] SHUMWAY J, IRVIN A, SHIA R, *et al*. Biomarkers, creatine kinase, and kidney function of special operation candidates during intense physiological training[J]. Mil Med, 2020, 185(7/8): e982-e987. DOI: 10.1093/milmed/usaa079.

[8] LUETMER M T, BOETTCHER B J, FRANCO J M, *et al*. Exertional rhabdomyolysis: a retrospective population-based study[J]. Med Sci Sports Exerc, 2020, 52(3): 608-615. DOI: 10.1249/MSS.0000000000002178.

[9] 谢冬冰. 热射病并发急性肝损伤、横纹肌溶解及继发肺渗出性病变1例[J]. 中国现代医药杂志, 2021, 23(3): 84-86. DOI:10.3969/j.issn.1672-9463.2021.03.022.
XIE D B. A case of thermoplegia complicated with acute liver injury, rhabdomyolysis, and secondary pulmonary exudative lesions[J]. Mod Med J China, 2021, 23(3): 84-86. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9463.2021.03.022.

[10] WU M, WANG C L, LIU Z Y, *et al*. Sequential organ failure assessment score for prediction of mortality of patients with rhabdomyolysis following exertional heatstroke: a longitudinal cohort study in Southern China[J]. Front Med (Lausanne), 2021, 8: 724319. DOI: 10.3389/fmed.2021.724319.

[11] 孙宏艳. 青少年体育运动状况调查及对策[J]. 青年学报, 2022(2): 68-78. DOI: 10.3969/j.issn.2095-7947.2022.02.009.
SUN H Y. Investigation and countermeasures on sports status of teenagers[J]. Youth Res, 2022(2): 68-78. DOI: 10.3969/j.issn.2095-7947.2022.02.009.

[12] KUMAR R, KUMAR S, KUMAR A, *et al*. Exercise-induced rhabdomyolysis causing acute kidney injury: a potential threat to gym lovers[J]. Cureus, 2022, 14(8): e28046. DOI: 10.7759/cureus.28046.

[13] DAI R X, MENG Q. Exertional rhabdomyolysis combined with acute kidney injury and complicated by posterior reversible encephalopathy syndrome[J]. Intern Med, 2022, 61(24): 3729-3732. DOI: 10.2169/internalmedicine.9376-22.

(**收稿**:2023-02-08;**修回**:2023-09-01)

(编辑 邓强庭)