文章编号:1000-5404(2013)03-0201-04

论著

坦克射击时舱室内有害气体对乘员生理及神经行为能力的影响

李代波[1],孙 磊[1],王 涛[2],赵晓龙[1],陶成玉[3],王洪飞[4],韩 飞[1],杨 桓[1],刘文斌[1],崔志鸿[1],刘晋祎[1],曹 佳[1]
(400038 重庆,第三军医大学:军事预防医学院毒理学研究所[1],西南医院急救部[2];233010 安徽 蚌埠,解放军装甲兵学院:教练团卫生队[3],门诊部[4])

[摘要] **目的** 了解我军某型坦克实弹射击时舱室内主要空气污染物的污染特点及对乘员生理和神经行为的影响。**方法** Draeger X-am 系列便携式气体检测仪实时监测坦克在匀速行进射击状态时舱室内产生气体的种类和浓度,主要包括:氧气(O_2),硫化氢(H_2S)、一氧化碳(CO)、氰化氢(HCN)、氯气(Cl_2)、二氧化碳(CO_2)、二氧化硫(SO_2)、氨气(NH_3)、二氧化氮(NO_2)和总挥发性有机化合物(TVOC);SUMMA 罐采集射击不同数量炮弹时舱室内的有机气体,并进行 GC/MS 定性和定量测试;分别在实弹射击前后测定 47 名坦克乘员的体温、血压、心率、血氧饱和度以及握力;并选择其中 24 名坦克乘员,运用 B. NES 系统对其在射击前后的神经行为能力进行测试。**结果** 实弹射击状态下坦克舱室内检测到 6 种有害无机气体(CO、CO_2、HCN、SO_2、NH_3、NO_2),其中 CO 最高浓度为(497.50 ± 68.78) cm^3/m^3,显著高于发射前($P<0.01$)。射击过程中共检出挥发性有机气体 278 种,其中苯系物的污染较严重。与射击前相比,乘员射击后心率显著增加($P<0.01$),血氧饱和度显著降低($P<0.05$),握力显著增加($P<0.01$)。射击后操作乘员的神经行为能力降低,其中系列加减、记忆扫描、听数字广度、听简单反应时和目标追踪能力指数与射击前比较显著降低($P<0.05$)。**结论** 我军某新型主战坦克实弹射击时能够产生多种有害气体,部分有害物浓度较高,其联合作用能在一定程度上影响坦克乘员的生理和神经行为能力。

[关键词] 坦克;射击;有害气体;生理;神经行为
[中图法分类号] R821.5; R992; R994.7 [文献标志码] A

Effects of harmful gases in tank cabins on physiology and neurobehavioral abilities of crews after firing

Li Daibo[1], Sun Lei[1], Wang Tao[2], Zhao Xiaolong[1], Tao Chengyu[3], Wang Hongfei[4], Han Fei[1], Yang Huan[1], Liu Wenbin[1], Cui Zhihong[1], Liu Jinyi[1], Cao Jia[1] ([1]Institute of Toxicology, College of Military Preventive Medicine, [2]Department of Emergency, Southwest Hospital, Third Military Medical University, Chongqing, 400038; [3]Medical Team of Coaching Regiment, [4]Out-patient Department, College of Armored forces, Bengbu, Anhui Province, 233010, China)

[**Abstract**] **Objective** To explore the characteristics of the main air pollutants generated in tanks after firing, and their effects on soldiers' physiology and neurobehavioral abilities. **Methods** The concentrations of gases in tank, including oxygen (O_2), hydrogen sulfide (H_2S), carbon monoxide (CO), hydrocyanic acid (HCN), chlorine gas (Cl_2), carbon dioxide (CO_2), sulfur dioxide (SO_2), ammonia (NH_3), nitrogen dioxide (NO_2) and total volatile organic compounds (TVOC) were monitored after firing. Organic gases were sampled after different shooting numbers and analyzed with GC/MS. Physiological indices (body temperature, blood pressure, heart rate, blood oxygen saturation and hand gripping strength) of 47 soldiers were measured and recorded before and after firing. The neurobehavioral abilities of 24 soldiers selected randomly from the above group were tested with neurobehavioral evaluation system before and after firing. **Results** Six kinds of harmful inorganic gases (CO, CO_2, HCN, SO_2, NH_3 and NO_2) and 278 kinds of organic gases were detected after firing. The heart rate and hand gripping strength increased significantly after firing ($P<0.01$) compared with those before firing, while the blood oxygen saturation decreased significantly ($P<0.05$). The neurobehav-

[基金项目] 全军医学科研"十一五"计划专项课题(06Z032)
[通信作者] 曹 佳,电话:(023)68772533,E-mail:caojia1962@126.com
[优先出版] http://www.cnki.net/kcms/detail/51.1095.R.20121207.1023.008.html(2012-12-07)

ioral abilities such as serial addition and subtraction, memory scanning, auditory digit span, auditory simple reaction time and aim tracing decreased significantly after firing as compared with those before firing ($P<0.05$). **Conclusion** Many kinds of harmful gases are released in tank after firing, and the concentrations of several gases are close to the value of occupational standard. The combined effect of those harmful gases can influence soldiers' physiology and neurobehavioral abilities.

[**Key words**] tank; firing; harmful gas; physiology; neurobehavioral ability

Supported by the Mandatory Project of the "Eleventh Five-year Plan" of Medical Research of PLA (06Z032). Corresponding author: Cao Jia, Tel: 86-23-68772533, E-mail: caojia1962@126.com

坦克等军用密闭舱室是我军陆地作战的主要场所和基本装备,作为一个独立而密闭的战斗单元,其舱室内的卫生学问题十分复杂,包括有害气体、噪声、振动、高温、电磁辐射等,严重危害坦克乘员的身体健康[1]。尤其是在射击状态下,舱室内的空气污染会因射击产生的烟雾而加重[2],可能会对作战乘员的生理[3]和神经行为产生不良影响。目前,我军对于这一领域的研究较少。为此,我们对我军某新型主战坦克在行进射击时舱室内有害气体进行了测定,定性和定量分析主要有害气体的污染状况和特点,同时检测了射击前后乘员的生理及神经行为能力的变化情况,为进一步开展危害效应评估和防护措施研究奠定基础。

1 对象与方法

1.1 研究对象及试验条件

1.1.1 测试坦克 选择我军国产某新型主战坦克3辆,同一时间装备部队,使用时间相差不超过6个月,坦克的维护、保养和相关性能基本相同。

1.1.2 人员选择 选取47名力量、心肺功能和行为心理状态基本相同,身高、体质量、年龄、军龄基本一致的男性坦克乘员为观察对象,依次进行实弹射击。每辆坦克射击完毕后开窗通风30 min,由下一组乘员登乘继续进行射击和相关测试,直到所有乘员测试完毕。

1.1.3 射击条件 某部队坦克射击场,11-12月,天气晴,气温5 ℃。每辆坦克以10 km/h的速度在起伏的沙土路面上行进射击,每辆坦克连续射击3发某型炮弹,每发炮弹间隔时间约10 s,3辆坦克依次进行射击。

1.2 方法

1.2.1 气体的测定 共监测10种主要气体。其中氧气(O_2)、硫化氢(H_2S)、一氧化碳(CO)3种无机气体由德国Draeger X-am 3000便携式气体检测仪测定,检测的下限分别为0.1%(体积分数)、1、1 cm^3/m^3;氰化氢(HCN)、氯气(Cl_2)、总挥发性有机化合物(TVOC)由Draeger X-am 5000便携式气体检测仪测定,检测的下限分别为0.1、0.01、0.1 cm^3/m^3;二氧化碳(CO_2)、二氧化硫(SO_2)、氨气(NH_3)和二氧化氮(NO_2)4种无机气体由Draeger X-am 7000便携式气体检测仪测定,检测的下限分别为0.01%(体积分数)、0.01、0.1、0.01 cm^3/m^3。事先将3种仪器固定于坦克舱室内车长位周围,位置与车长口鼻同高;坦克射击前将3个仪器开机,实时自动检测(每10秒记录1次)上述10种气体,共检测坦克3辆次。有机气体用真空SUMMA罐[4]于车长位且与车长耳鼻同高处采集,每辆坦克分别在炮弹发射前(发动机发动而坦克未行驶),第1、2、3发炮弹发射后即刻4个时间点采集3辆坦克内气体共计12个样本。样本送中国测试技术研究院(成都)进行GC/MS定性和定量测试。

有机气体检测仪器及条件[5-6]:进样器,Entech7100A pro-concentractor;检测器,GC/MS 7890A/5975C;色谱条件,DB-5 ms色谱柱(60 m×0.32 mm×1.00 μm),载气为高纯度氦气;柱温箱,35 ℃保持5 min,以6 ℃/min从35 ℃上升到140 ℃,以15 ℃/min从140 ℃上升到220 ℃,在220 ℃保持3 min。

质谱条件[5-6]:接口温度250 ℃,离子源温度200 ℃,四极杆温度170 ℃,电离方式EI,电子能量70 eV,扫描质量范围为35~450。

1.2.2 生理指标的测量 测试指标和仪器包括:体温测量,倍尔康jxb-180红外线测温仪;血压测量,欧姆龙HEM-845腕式血压计;血氧饱和度测量,力康Prince-100B指式脉搏血氧仪;握力测试,香山EH101电子握力计。分别在47名乘员登车之前5 min和完成射击后5 min内进行测试。测试地点为射击场旁一封闭房间内,测试由专业医务人员完成。

1.2.3 神经行为能力测试 运用最新中文版计算机神经行为评价系统:伯乐版-神经行为测试评价系统(Bole. neurobehavioral evaluation system, B. NES)[7-8]对受试乘员射击前后进行测试。测试时间点为射击前1 h和射击后10 min。B. NES系统的测试项目按测试的功能分成5个大类,即情感、智力、学习与记忆、感知和心理运动,共计24个测试项目。本研究选择其中10项敏感指标(心算、视觉保留、系列加减、记忆扫描、视简单反应时、听简单反应时、听数字广度、曲线吻合、数字筛选、目标追踪)进行测试。测试严格按照操作指南进行。全部测试由专业人员指导受试乘员,在光线柔和、四周安静的房间内用配置相同的电子计算机完成。由于此测试时间较长,故从47名乘员中选择24名,在登车之前1 h和完成射击后1 h内完成测试。

1.3 统计学分析

所有数据经校对后录入计算机,建立数据库。采用SPSS 19.00统计软件,计量资料数据以 $\bar{x}\pm s$ 表示,两组间均数的比较行 t 检验,多组间均数比较行方差分析。

2 结果

2.1 坦克射击时无机气体和总挥发性有机化合物

共检测10种气体,其中H_2S和Cl_2 2种气体在射击过程中均未检出;O_2浓度在射击过程中无显著变化($P>0.05$),CO、

HCN、CO_2、SO_2、NH_3、NO_2和TVOC有害气体浓度与发射前比较显著增加($P<0.01$),并随着炮弹发射数量的增加浓度也随之增加($P<0.05$,$P<0.01$)。见表1。

2.2 坦克射击时有机气体定性检测

坦克射击3发炮弹共检出有机气体278种,其中烷烃99种,烯烃66种,醇类5种,酮类1种,醛类3种,酯类2种,苯系物42种,萘类28种,茚类12种;而发射前,第1、2、3发炮弹发射后即刻4个时间点分别检出84、132、180、140种,4个时间点同时检出的气体有37种。

2.3 坦克射击时主要有机气体定量检测

根据美国环保局空气有机污染物监测方法[5-6],共定量检测37种常见挥发性有害气体,其中发射前,第1、2、3发炮弹发射后即刻同时检出的有机气体有8种,其中苯系物7种,烷烃1种。从检测结果看,射击第1发炮弹后舱室内乙苯及间二甲苯+对二甲苯的浓度显著高于发射前($P<0.05$,$P<0.01$)。见表2。

2.4 坦克射击前后乘员生理指标的变化

共检测5个生理指标,包括体温、血压、心率、血氧饱和度和握力。与射击前比较,射击后战士的心率显著增快($P<0.01$),血氧饱和度显著下降($P<0.05$),握力显著增加($P<0.01$)。见表3。

2.5 坦克射击前后乘员神经行为能力的变化

射击后坦克乘员的各项神经行为能力指标中,系列加减、记忆扫描、听数字广度、听简单反应时、目标追踪能力指数显著低于射击前($P<0.05$)。见表4。

3 讨论

坦克在行进中,发动机会排出部分有害气体[1]。坦克在战斗时自身发射武器也会排出大量弹药燃烧烟雾,会加重密封舱室有害气体浓度,从而有可能使内部乘员发生有害气体中毒。此现象在以往的兵器试验、部队演习和训练中时有发生[9]。

本研究表明,坦克射击时产生多种有害气体,其中CO、HCN、CO_2的浓度超过国家职业接触限值标准[10],TVOC的浓度也较高。特别是炮弹发射时CO的最高值可达1 000 cm^3/m^3,远远超过国家职业场所CO接触限值标准(16 cm^3/m^3)的60倍。根据GJB 967-1990“坦克舱室一氧化碳短时间接触限值”的要求,如无良好通风条件,乘员在舱室内的停留时间不能超过8 min。显然在战争条件下,坦克乘员很容易发生CO中毒。另外几种有害气体虽然浓度不高,但可能会与其他气体产生联合作用,对乘员的生理和神经行为产生不利影响[11-16]。

表1 坦克射击时各状态无机气体、CH_4和TVOC检测情况($n=3$, $\bar{x}\pm s$)

炮弹发射	O_2(%)	CO(cm^3/m^3)	HCN(cm^3/m^3)	CO_2(%)	SO_2(cm^3/m^3)	NH_3(cm^3/m^3)	NO_2(cm^3/m^3)	TVOC(cm^3/m^3)
发射前	21.47±0.05	–	–	0.07±0.01	–	–	–	4.72±0.42
第1发	21.45±0.26	158.50±31.62^{a}	0.43±0.22^{a}	0.10±0.01^{a}	0.19±0.11^{a}	0.93±0.24^{a}	0.17±0.10^{a}	39.78±12.47^{a}
第2发	21.43±0.26	323.50±77.49^{ac}	0.48±0.16^{a}	0.13±0.00^{ac}	0.20±0.08^{a}	0.98±0.39^{a}	0.31±0.09^{ab}	51.18±5.95^{ab}
第3发	21.38±0.22	497.50±68.78^{ace}	0.60±0.10^{ab}	0.14±0.01^{ace}	0.27±0.04^{a}	2.40±0.67^{ace}	0.41±0.08^{acd}	56.22±9.38^{ab}

a: $P<0.01$,与发射前比较;b: $P<0.05$, c: $P<0.01$,与第1发比较;d: $P<0.05$, e: $P<0.01$,与第2发比较

表2 坦克射击时各状态主要有机气体定量检测情况(mg/m^3,$n=3$, $\bar{x}\pm s$)

炮弹发射	苯	甲苯	乙苯	间二甲苯+对二甲苯	邻二甲苯+苯乙烯	三甲苯
发射前	0.001 7±0.000 3	0.640 6±0.340 3	0.036 2±0.034 6	0.028 1±0.021 7	0.074 0±0.084 8	0.127 3±0.179 1
第1发	0.431 5±0.546 8	1.290 3±0.568 2	0.145 7±0.043 3^{a}	0.127 7±0.013 2^{b}	0.354 3±0.215 7	0.226 9±0.101 9
第2发	0.564 7±0.934 5	1.769 2±1.872 8	0.387 2±0.333 1	0.251 7±0.238 5	0.903 0±1.301 6	0.273 2±0.294 2
第3发	0.437 9±0.371 7	0.812 9±0.660 9	0.200 0±0.163 6	0.124 7±0.089 1	0.422 2±0.349 2	0.111 7±0.107 4

a: $P<0.05$, b: $P<0.01$,与发射前比较

表3 坦克射击前后乘员生理指标的比较($n=47$, $\bar{x}\pm s$)

作业状态	体温(℃)	收缩压(mmHg)	舒张压(mmHg)	心率(/min)	血氧饱和度(%)	握力(kg)
射击前	36.21±0.46	135.00±12.53	89.89±8.63	85.47±15.79	97.81±0.99	45.48±7.16
射击后	36.28±0.39	133.23±11.48	86.77±9.95	97.96±16.16^{b}	97.36±0.82^{a}	48.81±7.32^{b}

a: $P<0.05$, b: $P<0.01$,与射击前比较

表4 坦克射击前后乘员神经行为能力指数的比较($n=24$, $\bar{x}\pm s$)

作业状态	心算	系列加减	视觉保留	记忆扫描	听数字广度	视简单反应时	听简单反应时	曲线吻合	目标追踪	数字筛选
射击前	2.48±0.57	2.25±0.62	0.91±0.23	4.52±1.31	1.60±0.29	1.63±0.39	1.91±0.94	2.18±0.57	2.83±0.40	1.96±0.29
射击后	2.42±0.53	1.83±0.49^{a}	0.82±0.18	3.81±0.87^{a}	1.36±0.38^{b}	1.66±0.34	1.62±0.60^{a}	1.98±0.73	2.47±0.60^{a}	1.87±0.28

a: $P<0.05$,与射击前比较

心率是实验室常用的反映个体应激情况的生理指标[17],其反映的是植物神经系统的紧张性[18]。本研究表明,射击后坦克乘员的心率显著高于射击前($P<0.01$)。一方面可能是因为舱室内多种有害气体(如CO、HCN、SO_2等)导致机体缺氧,从而引起心血管系统代偿,如心率增加等;另一方面,在坦克射击状态下,除了舱室内释放的大量有害气体外,射击操作与成绩评估也是乘员心理压力过大的主要应激因素[19]。另外,坦克乘员射击后握力显著高于射击前,可能与乘员应激导致肌肉骨骼系统兴奋有关。

神经行为功能是机体适应心理环境和生态环境的本能,支配和协调机体的正常活动,而又受机体各器官系统功能状态的影响和制约。因此,神经行为功能常被视为最敏感、最复杂的人体生理功能,在评价环境中有害因素对机体的早期不良作用时,常首先评价对神经行为功能的影响[20]。从本研究调查得出的神经行为能力测试结果看,射击后乘员的神经行为能力指标普遍下降。其中,主要反映被测试对象的智力、记忆、听感知、心理运动能力的相关指标下降幅度较射击前有统计学差异。这提示坦克射击时产生的有害气体对乘员的神经行为能力产生了明显不利影响,直接降低乘员的军事作业能力和作战效率。

射击状态下坦克舱室的有害因素除了有害气体外,还存在多种其他不利因素,比如高强度噪声、振动、心理应激等,其共同作用可能会导致乘员的作业能力显著下降。为此,我们应开展坦克多种有害因素联合作用对乘员影响的研究,加强坦克乘员的卫生学防护,有效减轻有害因素对其作业能力的影响,提高部队战斗力。

参考文献:

[1] 郝向阳,杨邵勃,郭红霞,等. 坦克舱室环境对乘员生理负荷影响的调查[J]. 人民军医, 2005, 48(7): 373-375.

[2] 袭著革, 李官贤, 吴佛运, 等. 不同作业条件下坦克驾驶舱内空气污染的定量与污染特征分析[J]. 解放军预防医学杂志, 2000, 18(4): 237-240.

[3] 郝向阳, 杨邵勃, 白香成, 等. 坦克火炮射击时舱室噪声与有害气体对乘员生理负荷的影响[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2006, 24(8): 491-493.

[4] 沈朝烨, 蒋志宏, 徐以盛, 等. 测定室内空气中挥发性有机污染物的SUMMA罐采样-GC-MS联用方法研究[J]. 环境与职业医学, 2009, 26(1): 71-73, 77.

[5] Determination Of Volatile Organic Compounds (VOCs) In Ambient Air Using Specially Prepared Canisters With Subsequent Analysis By Gas Chromatography[S]// Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air: 2nd ed. Method TO-14A. Cincinnati: U. S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory Center for Environmental Research Information, 1999.

[6] Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) In Air Collected In Specially-Prepared Canisters And Analyzed By Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC/MS)[S]// Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air: 2nd ed. Method TO-15. Cincinnati: U. S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory Center for Environmental Research Information, 1999.

[7] 徐黎明, 胡冰霜, 顾炎权, 等. 介绍一套计算机多媒体神经行为测试评价系统[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 1999, 17(2): 77-80.

[8] Sakong J, Kang P S, Kim C Y, *et al*. Evaluation of reliability of traditional and computerized neurobehavioral tests[J]. Neurotoxicology, 2007, 28(2): 235-239.

[9] 王玉林. 坦克乘员弹药尾气中毒4例救治体会[J]. 人民军医, 2000, 43(11): 625.

[10] GBZ2-2002 工作场所有害因素职业接触限值[S]. 北京: 中华人民共和国卫生部, 2002.

[11] 刘黎阳, 刘晓峰, 孔庆平, 等. 一氧化碳对装甲车乘载员神经行为功能的影响[J]. 职业与健康, 2008, 24(7): 613-615.

[12] Mathangi D C, Shyamala R, Vijayashree R, *et al*. Effect of alpha-ketoglutarate on neurobehavioral, neurochemical and oxidative changes caused by sub-chronic cyanide poisoning in rats[J]. Neurochem Res, 2011, 36(3): 540-548.

[13] 牟凤英. 长期接触低浓度二氧化硫对工人健康的影响[J]. 预防医学论坛, 2005, 11(3): 298-299.

[14] 倪为民. 急性硫化氢中毒的抢救[J]. 劳动医学, 1996, 13(3): 179-180.

[15] 徐向荣. 氧化氮的危害及其卫生检验方法[J]. 职业与健康, 1999, 15(2): 22-24.

[16] 杜旭芹, 郝凤桐. 二氧化碳中毒研究进展[J]. 中国工业医学杂志, 2010, 23(4): 273-276.

[17] 张娣, 张月娟, 阎克乐. 不同干预方式、不同应激源对血压、心率的影响[J]. 心理与行为研究, 2007, 5(3): 215-219.

[18] 刘旭峰, 苗丹民, 王伟, 等. 不同应激情境中正常青年男性心率变异性研究[J]. 中国行为医学科学, 2002, 11(6): 679-680.

[19] 阎克乐, 张月娟, 尚志恩, 等. 心算对内外倾者的心率、T波幅度和呼吸频率的影响[J]. 心理学报, 1997, 29(2): 187-194.

[20] 梁友信, 陈自强. 行为神经毒理学方法的回顾与展望[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 1999, 17(2): 66-68.

(**收稿**:2012-09-19;**修回**:2012-11-07)

(编辑 吴培红)