文章编号:1000-5404(2005)01-0005-04

论著

几种反坦克武器对坦克内动物眼创伤的实验研究

周奇志[1],刘少章[1],刘 江[2],李兵仓[3],刘大维[3] (第三军医大学大坪医院野战外科研究所:[1]眼科,[3]第六研究室,重庆 400042;[2]中国兵器实验中心白城第三十一试验训练基地,白城 137000)

提 要:目的 探讨反坦克武器攻击坦克后,坦克舱室内动物眼创伤的伤情特点,为眼创伤的防治提供实验依据。**方法** 将48只绵羊随机分成3组分批布放于坦克舱内,分别用大(Ⅰ组)、中(Ⅱ组)、小(Ⅲ组)3种不同口径的反坦克武器射击坦克前甲板。武器爆炸后,测量舱室内有害气体、温度和冲击波超压值,对舱室内动物的眼部进行组织病理学检查。**结果** 各弹种击中目标后,舱室内一氧化碳、氮氧化物和二氧化硫的含量增加,冲击波超压值不同程度的增高,温度无明显变化;眼部出现了显著的葡萄膜和视网膜血管扩张、血细胞淤积,以及视网膜水肿、变性和超微结构改变,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ组动物的眼部伤情依次减轻。**结论** 坦克内乘员的眼创伤包括结膜充血、角膜穿通伤、玻璃体出血、视网膜脱离、眶骨骨折、眼球破裂等。这些伤情与武器的类型、致伤效应有关。闭合性眼外伤有外轻内重、葡萄膜和视网膜血管反应明显的特点。

关键词:坦克;反坦克武器;眼创伤;绵羊;组织病理学
中图法分类号:R-332;R828.7 **文献标识码**:A

Experimental study on ocular trauma of animals inside the tank

ZHOU Qi-zhi[1], LIU Shao-zhang[1], LIU Jiang[2], LI Bing-cang[3], LIU Da-wei[3] ([1]Department of Ophthalmology, [3]Department 6, Institute of Surgery Research, Third Military Medical University, Chongqing 400042; [2]P. O. Box 108, Baicheng 137000, China)

Abstract: Objective To study the characteristics of ocular trauma inside of the tank after being bit by the antitank bombs to provide experimental evidences for defense- and-treatment of ocular trauma. **Methods** A total of 48 health sheep were divided into 3 groups and put into a tank separately. The three different caliber antitank bombs were used to shot the tank forearmor: large high-energy bomb for Group I, intermediate armor-piercing explosive fire bomb for Group Ⅱ, small armor-piercing fire bomb for Group Ⅲ. After the hit, the harmful gases, temperature, blast overpressure within the cabin and the injury situations of eyes were checked. **Results** After fire, harmful gases and blast overpressure were increased, but the temperature was not obviously changed. Each bomb explosion caused obvious reaction in blood vessel of uvea and retina, edema and degeneration as well as the changes of ultrastructure in retina. **Conclusion** The ocular trauma inside of the tank are complex and serious and related to the weapon calibre, class, and wounding effect. Closed ocular trauma has the characteristics of slight wound outside and serious wound inside as well as obvious reaction in blood vessels of uvea and retina.

Key words: tank; antitank weapon; ocular trauma; sheep; histopathology

现代战争虽然已演变成多兵种合成的大纵深、多层次、全方位的立体化战争,但是坦克等装甲兵器在现代陆地突击战中仍然具有重要的作用。另外,在高技术局部战争中具有十分重要作用的舰船、飞机和地下工事等,也都具有与坦克相似的"密闭空间"结构特征,其人员的伤情特点在很大程度上具有共性。实战中,视力的丧失可立即引起战斗减员,使士兵失去作战能力。因此,以坦克为代表的"作战密闭舱室"内人员的伤亡与救治是当前野战外科的重要研究内容之一[1]。对以坦克为代表的"作战密闭舱室"内乘员眼创伤的研究,国内外文献报道极少。为适应现代战争的需要,本实验采用了可造成冲击波、热效应、破片和有害气体等多种致伤因素的实弹高爆破性武器,以及战时最常用的坦克模拟作战密闭舱建立实验模型,来研究实战中舱室内人员的眼部伤情,为该类人员的眼部防护与救治提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

苏制T-34坦克1辆;某型大口径、中口径火炮各2门;某型高射机枪1挺。大口径破甲弹、中口径穿甲爆破燃烧弹、小口径穿甲燃烧弹各4发。

1.2 实验对象

健康绵羊48只(来自白城牧区的普通绵羊),雌雄不拘,体

作者简介:周奇志(1969-),女,重庆市人,硕士,副主任医师,主要从事眼外伤方面的研究,现在成都爱尔眼科医院屈光科,发表论文5篇。电话:(028)89029102,E-mail:zhouqizhi6931@sina.com
通讯作者:刘少章,电话:(023)68757391
收稿日期:2004-06-08;修回日期:2004-10-29

质量(35±5)kg。随机分成Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ 3组,每组16只。

1.3 实验方法

将绵羊分批布放于坦克舱内,取坐位固定,其臀部距舱底高30 mm。布放位置如下:N1为驾驶员位;N2为驾驶员后方;N3为驾驶员右侧;N4为N3后方。分别用大口径破甲弹(Ⅰ组)、中口径穿甲爆破燃烧弹(Ⅱ组)、小口径穿甲燃烧弹(Ⅲ组)3种不同类型的反坦克武器射击坦克前甲板,其中,Ⅰ、Ⅱ组射距100 m,Ⅲ组射距60 m。致伤后,测量舱室内一氧化碳(CO)、氮氧化物、二氧化硫(SO_2)、温度和冲击波超压值,并立即行眼部大体情况观察,于伤后24 h内活杀动物,摘取眼球行光镜、电镜观察。Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ组分别获得30、28、32眼(Ⅰ、Ⅱ组分别有1、2只羊头颅缺失而未取得眼球)。

1.4 统计学方法

采用SPSS11.0统计软件包进行单因素方差分析。

2 结果

2.1 各组的温度测试结果

武器爆炸前后的温度在Ⅰ组和Ⅱ组有统计学差异($P<0.05$),Ⅲ组差异不显著($P>0.05$),见表1。

表1 武器爆炸前后各组的温度测试结果(t/℃, $\bar{x}\pm s$)

Tab 1 Temperatures before and after blasts in each group (t/℃, $\bar{x}\pm s$)

Group	n	Before blast	After blast
Ⅰ	4	6.35±0.35	13.36±2.91**
Ⅱ	4	7.49±0.60	12.12±2.56*
Ⅲ	4	0	1.85±0.24

*: $P<0.05$, **: $P<0.01$, *vs* temperature before blast

2.2 武器爆炸后坦克舱室内有害气体的含量

各组武器爆炸后坦克舱室内有害气体的含量均增高,其中以Ⅰ组增高最明显,Ⅱ组次之,Ⅲ组增多最少,见表2。

表2 各组武器爆炸后坦克舱室内有害气体的含量

Tab 2 Contents of harmful gases after blasts inside the tank in each group

Group	Content of test ($\times 10^{-6}$)		
	Carbon monoxide	Nitrogen oxide	Sulfur dioxide
Ⅰ	465.0	20.000	15.000
Ⅱ	65.0	5.500	4.000
Ⅲ	2.0	0.150	2.000
Normal value	3.2	0.024	0.035

2.3 武器爆炸后坦克舱室内的冲击波超压值和持续时间

见表3,武器爆炸后坦克舱室内的冲击波超压值和持续时间以Ⅰ组最高,与Ⅲ组相比有显著差异($P<0.05$)。

2.4 各组不同布放位置动物全身损伤的受伤部位与受伤点数

驾驶员位(N1位)的伤情最重,所有眼部损伤的改变在该位置均有出现,驾驶员后位(N2位)、驾驶员右位(N3位)及驾驶员右后位(N4)位的伤情相似,较N1位的伤情明显轻。各弹种致伤后坦克舱内不同布放位置动物(羊)全身损伤的受伤部位与受伤点数见表4。

表3 武器爆炸后坦克舱室内的冲击波超压值和持续时间($\bar{x}\pm s$)

Tab 3 Blast overpressure and the lasting time ($\bar{x}\pm s$)

Group	n	Blast overpressure (p/kPa)	Lasting time (t/ms)
Ⅰ	3	62.3±8.1	3.9±1.3
Ⅱ	3	31.5±16.1**	3.4±0.8**
Ⅲ	3	3.6±0.9*	0.4±0.1*

*: $P<0.05$, **: $P<0.01$, *vs* Ⅰ

表4 各弹种致伤后坦克舱内不同布放位置动物(羊)全身损伤的受伤部位与受伤点数($n=48$)

Tab 4 Injured loci and points of sheep at the different positions in the tank ($n=48$)

Injured loci in body	Ⅰ				Ⅱ				Ⅲ			
	N1	N2	N3	N4	N1	N2	N3	N4	N1	N2	N3	N4
Chest and abdomen	66	29	33	48	49	20	31	19	31	0	0	17
Limbs	20	13	4	4	8	10	7	4	2	1	0	2
Head and neck	2	3	1	1	6	2	0	1	1	0	0	0

2.5 眼部组织病理学检查

2.5.1 眼部大体伤情 所有眼球均出现了结膜充血。Ⅰ组:角膜穿通伤2眼,眶骨骨折合并眼球破裂1眼。Ⅱ组:角膜穿通伤1眼,眼球破裂伤合并眼内异物2眼。Ⅲ组:眼前节未见明显伤情。

2.5.2 光镜 Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ组在光镜下均可见:角膜上皮水肿;葡萄膜和视网膜血管显著扩张、血细胞淤积;球内出血;部份视网膜神经纤维层水肿、节细胞及内核层空泡样变、视细胞外节断裂结构紊乱(图1)。除上述改变外,Ⅰ、Ⅱ组还有:Ⅰ组:角膜穿通伤2眼,其伤口均位于角巩膜缘的近角膜侧,伤道内有色素膜、晶状体皮质、玻璃体等眼内组织嵌顿,玻璃体及脉络膜上腔大量出血,玻璃体腔内可见卷曲的残留晶体囊膜、碎裂和坏死的视网膜(图2)。局限性渗出性视网膜脱离1眼,视网膜出血1眼,脉络膜出血1眼。Ⅱ组:角膜穿通伤1眼,伤道内有色素膜、晶状体皮质、玻璃体等眼内组织嵌顿,玻璃体及脉络膜上腔大量出血,玻璃体腔内可见碎裂的视网膜及0.2 mm×0.2 mm大小的金属异物。局限性渗出性视网膜脱离1眼。



图1 内核层细胞疏松,空泡样变,视网膜血管扩张、血细胞淤积,外节消失,渗出性视网膜脱离 (HE×100)

Fig 1 Rarefaction and vacuolar degeneration in inner nuclear layer cell, vasodilatation of blood cell silting up and epimerite extinction in retina, exudative detachment of retina (HE×100)

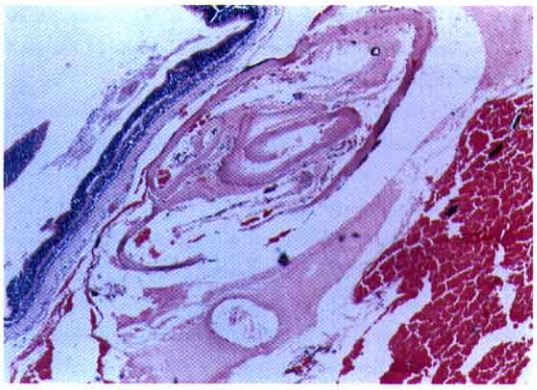


图 2　玻璃体大量出血，玻璃体腔内可见卷曲的残留晶全囊膜、碎裂和坏死的视网膜　(HE×40)

Fig 2　Vitreous hemorrhage, convoluting lens membrane, fragmentation and necrosis of retina in vitreous　(HE×40)

2.5.3　电镜　　视网膜内界膜断裂；神经纤维层轴浆肿胀；视细胞线粒体肿胀；节细胞胞质空化，髓鞘样结构形成，出现核溶解。

3　讨论

3.1　各种致伤因素对眼创伤的影响

3.1.1　温度的影响　　尽管实验结果显示，大、中口径武器爆炸前后坦克舱内温度的变化有统计学意义，但所测到的爆炸后坦克舱内的温度并不足以引起眼部烧伤，眼部检查也无烧伤的表现。推测，反坦克武器击中坦克后，如不引爆其他物品，烧伤对战斗人员眼部的威胁不大。另外，此次测试时室外温度在 0 ℃以下，环境温度是否会对反坦克武器引起的热效应有影响还有待研究。

3.1.2　有害气体的影响　　Muramatsu 等[2]认为空气中 CO 含量达 $(2.5 \sim 1.3) \times 10^{-6}$ 就可引起眼部刺激症状，提出许可的 CO 含量应在 $(1.5 \sim 2.0) \times 10^{-6}$ 范围内。Schwartzman 等[3]的研究表明，CO 可抑制角膜上皮细胞的 Na^+，K^+-ATPase 的合成，从而导致角膜水肿。最近的研究认为[4~6]，氮氧化物尤其是一氧化氮在脉络膜、视网膜和视神经的血液循环中扮演着十分重要的角色，它能调节组胺、P 物质、乙酰胆碱等舒血管物质的释放，从而引起脉络膜和视网膜血管平滑肌松弛，血管舒张。国外报道，SO_2 可引起眼红、流泪等刺激症状，以及结膜充血的体征[7,8]。

尽管本实验中，武器爆炸后，所测得的舱内的 CO、氮氧化物、SO_2 值为瞬时值，但它们均超过正常值。因此，分析本实验中观察到的眼部伤情也可能与武器爆炸后密闭舱内有害气体的升高有一定关系。

3.1.3　冲击波的影响　　冲击波是高爆武器致伤因素之一。根据国防科工委军标 GJB2A-91(常规武器发射或爆炸时脉冲噪声和冲击波对人体作用的安全限值)[9]和 GJB1158-91(炮口冲击波对人员非听觉器官损伤的安全限值)[10]规定，超过 41.2 kPa 可造成听觉系统的严重损伤和内脏的损伤，本实验中，尽管只有Ⅰ组的冲击波超压值明显超过该安全限值，但 3 组动物的眼部均出现了明显的葡萄膜和视网膜血管反应及组织水肿、渗出、出血等与以往眼冲击伤模型相似的组织病理学改变。为何这种较低水平的冲击波超压值仍能造成眼损伤？分析与反坦克武器击中坦克后使舱室内部压力增高，以及密闭环境产生反射聚焦效应有关。

3.1.4　破片的影响　　除冲击波外，破片也是爆炸性武器常见的致伤因素。尽管眼表面积仅占体表面积的 0.27%，被破片击中的机会较胸、腹及四肢小得多，但Ⅱ组仍有 3 眼为眼内异物伤，表明破片也是爆炸性武器引起密闭舱室内乘员眼损伤的常见致伤因素之一。

3.2　作战密闭舱室内乘员眼创伤的特点

3.2.1　伤情复杂、严重　　可见结膜充血、角膜穿通伤、玻璃体出血、视网膜脱离、眶骨骨折、眼球破裂等。

3.2.2　基本的组织病理学改变　　角膜水肿，显著的葡萄膜和视网膜血管反应，不同程度的视网膜水肿、变性，视细胞外节断裂、结构紊乱。

3.2.3　眼创伤与武器的口径和类型有关　　大口径破甲弹弹丸飞行速度高达 1 200 m/s，撞击装甲后产生很高的动能，加上装药的“聚能效应”，其相互作用的结果是瞬时产生极高的温度，使弹丸和弹孔周围部分金属融化，并形成高速、高能的金属射流、金属滴和气溶胶，从而导致舱室内乘员的损伤[11]。本实验中，该弹种导致了舱室内绵羊严重的眼创伤，如：角膜穿通伤，眶骨骨折和眼球破裂。

中口径穿甲爆破燃烧弹穿甲后在舱室内爆炸，其特点是既有穿甲弹的杀伤威力，又有爆破燃烧弹的杀伤威力，还可引起室内物品燃烧爆炸。舱室内人员可被该武器穿甲后形成的金属射流、爆炸产生的破片及二者产生的冲击波超压致伤[12]。本实验中，所有的球内异物伤均出现在该弹种致伤组，说明该弹种产生的破片是眼外伤的重要致伤因素之一。

小口径穿甲燃烧弹是反坦克武器的基本弹种。它产生动能穿甲，主要作用是引燃坦克内的易爆易燃物品，对攻击目标产生二次杀伤[13]。本实验中，此类武器的眼创伤最轻，一方面可能是其口径较小，产生的弹片密度较低；另一方面可能与实验的坦克内未放置弹药类易燃、易爆物品有关。

3.2.4　不同类型眼创伤的伤情特点　　开放性眼外伤：眼穿通伤的位置多位于Ⅰ区和Ⅱ区(Ⅰ区：角膜、角巩膜缘；Ⅱ区：角巩膜缘向后 5 mm 以内)。破裂伤涉及Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区(Ⅲ区：角巩膜缘向后 5 mm 以外)。眼内异物均为金属破片，且位于眼后节。

闭合性眼外伤：外轻内重，葡萄膜和视网膜血管反应明显。

3.2.5　动物在舱室内位置与弹着点的关系　　实验

结果表明，布放在驾驶员位的动物的全身和眼部伤情均最重，可能与弹着点为驾驶员正前方（坦左前方）的钢板有关。

3.3 临床意义

眼部伤情复杂、严重，全身复合伤多，提示在抢救中应兼顾全身，突出重点。眼部伤情是冲击波、有害气体和破片等多种致伤因素综合作用的结果。因此，建议对作战密闭舱室内的乘员采取相应的防护措施，如佩带护目镜、护耳器具及防爆背心等，并提高通风设备的效率，使有害气体尽快消减。另外，舱室内设施应采用阻燃低毒的环保材料。

闭合性眼外伤有外轻内重、葡萄膜和视网膜血管反应明显的特点。故，应重视对眼后节的检查，并及时应用糖皮质激素以减轻血管反应，改善微循环。

参考文献：

[1] 李兵仓. 对坦克内乘员的受伤特点和早期救治进行研究的意义途径[J]. 解放军医学杂志，2003，28(1)：1－3.

[2] Muramatsu T, Weber A, Muramatsu S, *et al*. An experimental study on irritation and annoyance due to passive smoking[J]. Int Arch Occup Environ Health, 1983, 51(4): 305－317.

[3] Schwartzman M L, Balazy M, Masferrer J, *et al*. 12(R)-hydroxyicosatetraenoic acid: a cytochrome-P450-dependent arachidonate metabolite that inhibits Na^+, K^+-ATPase in the cornea[J]. Proc Natl Acad Sci U S A, 1987, 84(22): 8125－8129.

[4] Luksch A, Polska E, Imhof A. *et al*. Role of NO in choroidal blood flow regulation during isometric exercise in healthy humans[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2003, 44(2): 734－739.

[5] Schmetterer L, Polak K. Role of nitric oxide in the control of ocular blood flow[J]. Prog Retin Eye Res, 2001, 20(6): 823－847.

[6] Chiou G C. Review: effects of nitric oxide on eye diseases and their treatment[J]. J Ocul Pharmacol Ther, 2001, 17(2): 189－190.

[7] Das M, Bhargava S K, Kumar A, *et al*. An investigation of environmental impact on health of workers at retail petrol pumps[J]. Ann Occup Hyg, 1991, 35(3): 347－352.

[8] Higgins B G, Francis H C, Yates C J. Effects of air pollution on symptoms and peak expiratory flow measurements in subjects with obstructive airways disease[J]. Thorax, 1995, 50(2): 149－155.

[9] 刘 江，孙忠良，梁之安，等. 常规兵器发射或爆炸时脉冲噪声和冲击波对人员听觉损伤的安全限值(GJB2A－91)[M]. 北京：国防科工委军标出版发行部，1996. 2－4.

[10] 姚德胜，杨志焕，刘正邦，等. 炮口冲击波对人员非听觉器官损伤的安全限值(GJB1158-91)[M]. 北京：国防科工委军标出版发行部，1992. 2－3.

[11] 刘 江，李兵仓，谷春广，等. 大口径反坦克武器侵彻坦克后绵羊的致伤特点[J]. 解放军医学杂志，2003，28(1)：7－8.

[12] 刘 江，李兵仓，谷春广，等. 中口径穿甲爆破燃烧弹对坦克内绵羊致伤的试验研究[J]. 解放军医学杂志，2003，28(1)：9－10.

[13] 刘 江，李兵仓，谷春广，等. 小口径穿甲武器致伤坦克内绵羊致伤的现场试验[J]. 解放军医学杂志，2003，28(1)：11－12.

（编辑 薛国文）

（上接4页）

表2 交叉试验的结果（%，$\bar{x} \pm s$）

组别	n	$Rh123^+PI^-$细胞的百分比			
		NB4细胞	HL60细胞	用As_2O_3处理的NB4细胞	用Ara-c处理的HL60细胞
A	3	97.2±2.6	97.5±1.8	34.7±3.5	48.7±5.5
B	3	96.8±2.5	97.0±2.5	35.9±3.8	45.9±5.8
C	3	94.8±2.3	95.3±3.5	32.5±3.8	42.5±4.8
D	3	94.4±2.5	95.9±4.4	33.7±3.4	43.7±4.4
E	3	92.6±3.5	93.8±5.5	36.9±2.6	46.9±4.6
F	3	92.5±3.5	93.9±4.5	35.4±2.5	45.4±3.5
G	3	72.7±9.1*	51.7±8.7**	28.9±3.3*	24.9±4.3**
H	3	71.7±9.9*	51.9±8.8**	25.6±4.4*	28.6±4.8**

与A组比较，*：$P<0.05$，**：$P<0.01$

3 讨论

使用Rh123和PI双染色测定$\Delta\Psi m$，多使用的浓度为10.0 μg/ml[3]，但有$\Delta\Psi m$正常和胞膜破损的细胞存在，这是异常分布，因为PI阳性显示细胞膜已破裂，而未加线粒体保护剂，$\Delta\Psi m$不可能正常。同时Rh123染料对线粒体有极高的亲和力，2.5 μg/ml Rh123染色细胞也可获得较高的荧光强度[2]。因此认为是两种染料浓度较高，不能除去染料的残留所致。

而使用10.0 μg/ml Rh123和10.0 μg/ml PI时，在两次染色时均增加了洗涤各两次，虽可取得较好的效果，但试验的结果仍不稳定；由于洗涤次数增加损失细胞过多，给工作造成诸多不便。有报道As_2O_3和Ara-c处理后的NB4和HL60细胞$\Delta\Psi m$消失[3,4]。我们采用了不同浓度的Rh123和PI交叉优化方案，洗涤的次数不增加，甚至PI染色后，只洗涤1次，即上机检测。检测的结果显示经或未经药物处理的细胞，Rh123和PI双染色检测$\Delta\Psi m$的浓度分别为1.25和2.0 μg/ml时，检测获得的$Rh123^+PI^-$细胞百分率与其相应较高的浓度组合相比无差异，但都比其相应较低的浓度组合相比则有增加，同时结果与文献[3,4]报道的使用高浓度Rh123和PI染色结果一致。证实Rh123和PI分别为1.25和2.0 μg/ml双染色检测$\Delta\Psi m$为最佳浓度组合。同时可以减少洗涤次数，增加试验结果的稳定性和重复性。

关键词：线粒体跨膜电位；罗丹明123；碘化丙啶

中图法分类号：R329-33 文献标识码：B

参考文献：

[1] Halestrap A P, Doran E, Gillespie J P, *et al*. Mitochondria and cell death [J]. Biochem Soc Trans, 2000, 28(2): 170－177.

[2] Salvioli S, Ardizzoni A, Franceschi C, *et al*. JC-1, but not DiOC6(3) or rhodamine 123, is a reliable fluorescent probe to assess delta psi changes in intact cells: implications for studies on mitochondrial functionality during apoptosis[J]. FEBS Lett, 1997, 411(1): 77－82.

[3] 沈玉雷，陈国强，蔡 循，等. 谷胱甘肽合成酶抑制剂加强三氧化二砷的凋亡诱导效应[J]. 中华肿瘤杂志，1999，21(4)：259－261.

[4] Takemura H, Urasaki Y, Yoshida A, *et al*. Simultaneous treatment with 1-beta-D-arabinofuranosylcytosine and daunorubicin induces cross-resistance to both drugs due to a combination-specific mechanism in HL60 cells[J]. Cancer Res, 2001, 61(1): 172－177.

（编辑 陈聪连）