

空气冲击波重复作用的生物效应*

杨志焕 唐承功 王正国

(第三军医大学野战外科研究所)

姚德胜 刘正邦 陈 田

(总参装备技术研究所)

摘要 实验动物为体重15.2—42.4kg的绵羊和山羊共46只。用TNT化爆和BST-I型激波管致伤, 伤后6小时进行形态学检查, 以确定重复冲击的效应。结果表明多次重复冲击可使损伤显示累加效应, 表现为损伤的发生率和程度增加, 损伤阈值降低。

关键词 生物效应 重复冲击 阈值

1. 前言

本世纪初就有关于冲击波重复作用的实验报告^[1]。近年来, 随着武器的不断更新, 威力日益增加, 现代火器系统(如大口徑火炮, 肩扛反坦克武器等)出膛时的空气冲击波对操作人员的健康有所损害, 因而引起了人们对空气冲击波重复作用研究的重视。本研究的目的在于探讨空气冲击波重复冲击的生物效应, 为处于这种环境中人员的安全和采取相应的防护措施提供依据。

2. 实验方法

本实验的空气冲击波由以下两部分组成: 一是用10kg柱状TNT进行化爆, 以模拟炮口冲击波等弱冲击波的生物效应; 二是用BST-I型生物激波管产生冲击波致伤, 以研究空气冲击波重复作用的效应。

体重15.2~42.4kg雌雄绵羊30只, 胸腹部剪毛, 用3%戊巴比妥钠(20~25mg/kg)静脉麻醉后, 帆布支撑直立固定。双侧外耳道塞泡沫海绵保护听器, 右侧朝向爆心。供一次爆炸的绵羊12只, 供连续爆炸实验的绵羊18只, 绵羊布放于离爆心8~17m的扇形线上。爆源为10kg TNT药柱, 8号电雷管起爆。药柱悬挂在离地面1.25m高的铁丝上, 属于空中爆炸, 进行单次和连续20次爆炸。引爆20次者, 爆炸间隔时间为4~6min。

另取体重16.5~32.0kg绵羊和山羊各8只, 肌注安定10mg镇静后, 直立固定于铁丝笼内, 铁笼固定于生物激波管内挂钩上以防被抛掷。右侧朝向激波源, 用BST-I型生物激波管进行单次和连续5次冲击。连续5次冲击者, 每次间隔时间为10~15min。

用美国ENDEVCD公司生产的8507型压阻式传感器测定空气冲击波参数。

部分动物于致伤前, 致伤后即刻和伤后6h进行动脉血气分析, 胸部X光摄片, 凝血功能检查和外周血液中内皮细胞计数。

* 参加本文试验工作的还有: 冷华光、李晓炎、尹友国、马孝华、刘大维、陈遵爱、乔英娥、李敬魁、赵博生、张 华、陈 勇等同志。

1990年2月收到原稿, 9月18日收到修改稿。

致伤后 6 h 静注 3% 戊巴比妥钠麻醉, 股动脉放血处死动物, 作大体解剖检查。重点观察上呼吸道, 肺和胃肠道损伤情况。冲击伤伤情判定标准见表 1。典型标本照相后, 留取组织块, 固定于 15% 福尔马林和 3% 戊二醛溶液中, 进行光镜和电镜观察。

表 1 冲击伤伤情分级
Table 1 Degree of the severity of blast injuries

伤亡等级	损伤程度	上 呼 吸 道	肺	胃 肠 道
一	无 伤	...	...	...
二	轻 微	多数针尖大的或个别米粒大的出血	多数针尖大的出血或局灶性渗血	多数针尖大的或个别米粒大的出血
三	轻 度	散在斑点状或条索状出血	一叶或数叶散在点灶状或个别斑块状出血	散在点灶状至斑片状出血或个别黄豆大血肿
四	中 度	多个小片状或个别大片状的出血	一叶或数叶散在斑块状或个别小片状出血, 轻度水肿	多处小片状或个别大片状出血或多个黄豆大血肿
五	重 度	粘膜破裂或血肿	一叶或数叶多个小片状或个别大片状出血, 中度水肿	多处大片状出血或穿孔

3. 实验结果

1. 冲击波物理参数测试结果

详见表 2。由表 2 可见, 在化爆条件下, 随离爆心距离增加, 峰压下降, 正压作用时间延长。在激波管条件下, 离爆源距离愈近, 则正压作用时间愈短。

表 2 空气冲击波测试结果
Table 2 Some parameters of air blast waves

爆 源	离爆源距离/(m)	超压/(kPa)	正压作用时间/(ms)
10kgTNT	8	68.65	2.4
	17	20.2	3.3
BST-1激波管	4	100.45-114.50	5.02-5.13(短作用时间)
	15	107.40-122.08	38.93-39.30(长作用时间)

2. 大体解剖结果

详见表 3 和表 4。由表 3 和表 4 可见肺损伤发生率最高, 损伤程度也最重, 其次是胃肠道损伤和上呼吸道损伤。肺损伤主要表现为程度不同的出血, 有时可见与肋间走向一致的肋间压痕, 重者可见血性肺大疱, 且常常伴有水肿(图 1, 2)。上呼吸损伤可见会厌、喉头和气管不同程度的出血(图 3)。胃肠道损伤主要表现为胃和大、小肠出血(图 4, 5)。除上述损伤外, 个别动物还可见心内膜, 膀胱粘膜出血以及肝脾包膜下出血。

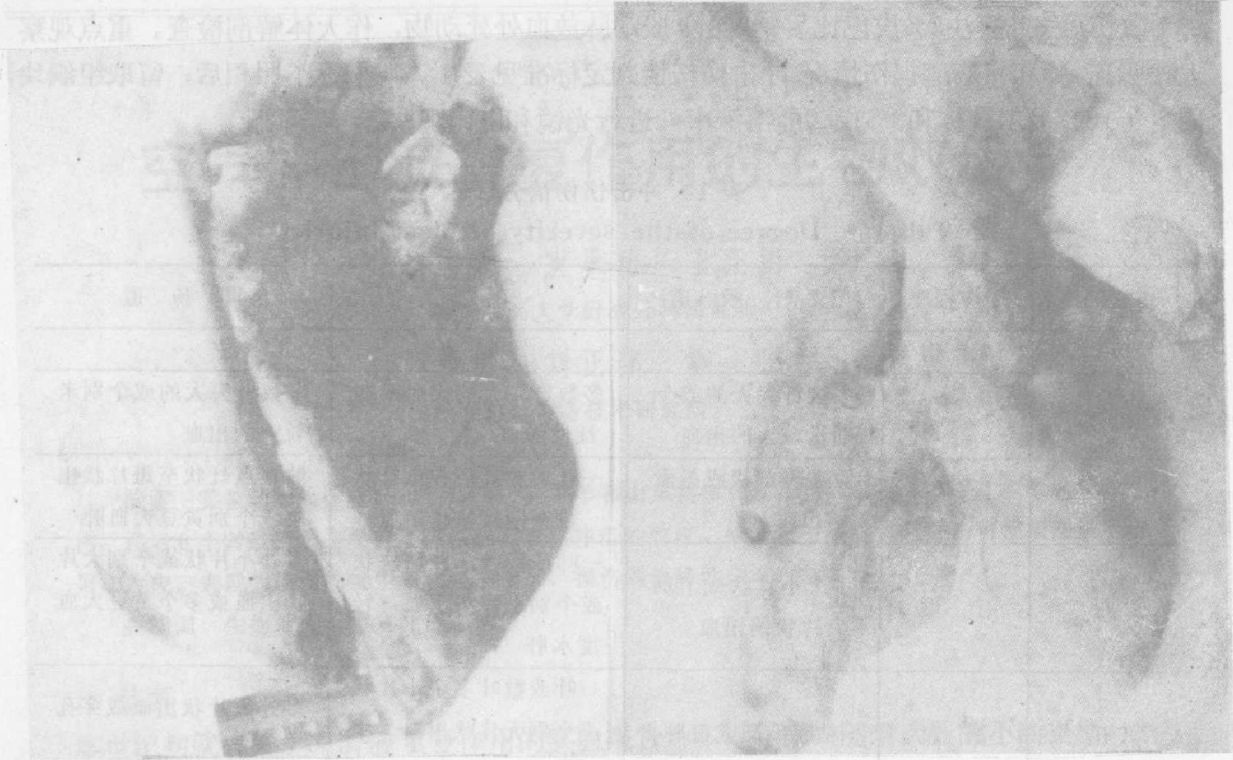


图 1 肺出血
Fig. 1 Pneumorrhagia

图 2 出血性肺大泡
Fig. 2 Hemorrhagic bullae of lung



图 3 喉头部出血
Fig. 3 Larynx hemorrhage

图 4 瘤胃出血
Fig. 4 Rumen hemorrhage

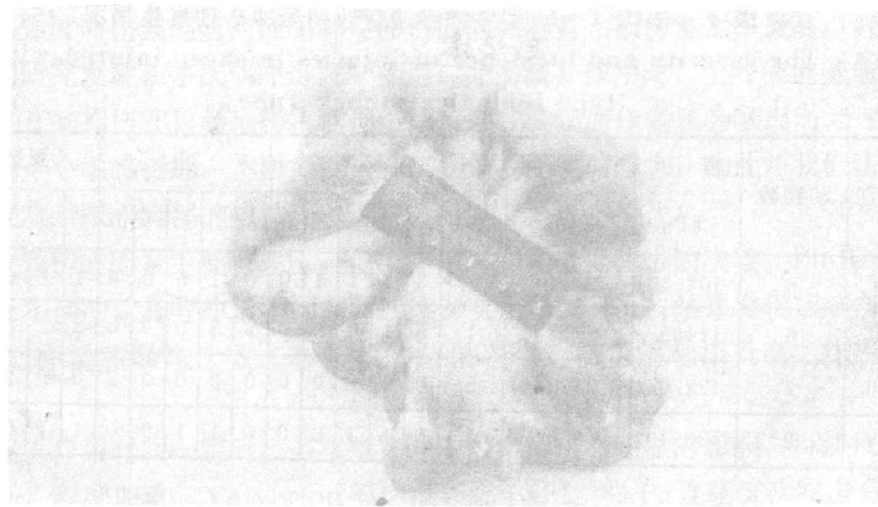


图5 结肠出血

Fig. 5 Colon hemorrhage

表3 羊10kgTNT单次和连续20次爆炸后冲击伤发生情况

Table 3 The severity and incidence of injuries in sheep after 1 and 20 times continuous exposures to blast waves from 10kg TNT explosions

序号	超压 /(kPa)	正压作用 时间 /(ms)	动物数	爆炸 次数	上呼吸道					肺					胃肠道					伤亡* 等级	
					一	二	三	四	五	一	二	三	四	五	一	二	三	四	五		
1	32.0		1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	一
2	37.27		1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	三
3	41.0		4	1	4	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	3	0	1	0	0	三
4	62.52		1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	一
5	68.65	2.4	4	1	4	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	4	0	0	0	0	四
6	77.0		1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	四
7	20.2	3.3	4	20	4	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	2	1	1	0	0	三
8	28.24		5	20	4	1	0	0	0	0	1	0	3	1	0	2	1	1	1	0	四
9	40.89		5	20	4	0	1	0	0	0	2	0	0	3	0	5	0	0	0	0	四
10	67.86		4	20	0	1	3	0	0	0	1	0	2	1	0	2	0	1	1	0	四

* 伤亡等级一、二、三、四、五分别代表无伤、轻微损伤、轻度损伤、中度损伤、重度损伤。系指可能出现该等级伤亡的最低压力值。下同。

3. 冲击波重复作用对伤情的影响

由表3（序号5和10、3和9）和表4（序号1和3、2和4）可以看到重复冲击使损伤显示累加效应。损伤的阈值降低，发生率上升，程度加重。详见表5。

4. 冲击波正压作用时间对伤情的影响

由表4可见I组和II组以及III组和IV组超压相近，冲击次数相同，但正压作用时间不同。

表 4 羊BST-I 型生物激波管致伤后冲击伤发生情况
Table 4 The severity and incidence of injuries in sheep injured with BST-I type Biological Shock Tube

序号	组别	动物数	超 压 (kPa)	作用时间 (ms)	冲击 次数	上呼吸道					肺					胃肠道					伤亡 等级
						一	二	三	四	五	一	二	三	四	五	一	二	三	四	五	
1	I	6	107.40	39.30	1	3	1	1	1	0	0	1	5	0	0	1	1	3	1	0	四
2	II	6	114.5	5.13	1	5	1	0	0	0	3	3	0	0	0	3	3	0	0	0	二
3	III	2	122.08	38.93	5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	五
4	IV	2	100.45	5.02	5	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	三

表 5 空气冲击波重复作用时损伤压力阈值和损伤发生率的变化
Table 5 Change in the threshold and incidence of injuries after repeated air blast exposure

爆 源	爆炸次数	损伤阈值/(kPa)			轻度伤以上发生率/(%)			
		上呼吸道	肺	胃肠道	上呼吸道	肺	胃肠道	
10kgTNT	1	77.0	37.27	41.0	0	50.0	8.3	
	20	40.89	20.2	20.2	22.2	72.2	27.8	
BST-I 激波管	长作用 时间	1	...	...	...	33.0	83.3	66.0
		5	...	...	...	100.0	100.0	100.0
	短作用 时间	1	...	...	...	0	0	0
		5	...	...	...	50.0	50.0	0

结果正压作用时间长的组伤情明显加重，并可同时发生多个脏器损伤，显示在峰压和冲击次数一定时，冲击波正压作用时间对伤情有明显的影响。

5. 血气分析

X光胸片、凝血功能和内皮细胞计数的改变：8只羊于致伤前后进行了动脉血气分析，结果表明对轻中度冲击伤不引起明显的血气改变。对15只羊进行X光胸部摄片，表明对中度以上的肺出血有较大的诊断价值。10只羊冲击伤后外周血内皮细胞数减少，且与损伤程度有关，损伤重者下降更为明显。4只羊凝血功能检查致伤后未见明显改变。

6. 光镜和电镜观察

光镜可见会厌，喉及气管粘膜下水肿及局灶性出血，中性白细胞浸润。肺泡间隔增宽，间质和肺泡腔内出血，水肿，微血管内有白细胞扣押，间质内中性白细胞浸润。部分胃肠粘膜水肿，粘膜下有灶性出血。电镜主要表现为肺泡表面活性物质减少，肺泡上皮和内皮细胞肿胀、空泡化，有时可见髓样体形成，微血管腔内可见红细胞瘀滞，白细胞附壁，部分胞浆溶酶体减少。

4. 结论

既往单次高强度冲击波的研究证明肺是冲击波的靶器官, 损伤发生率最高, 程度最重。Phillips等^[2]的研究发现在多次弱冲击波(如炮口冲击波)作用时, 上呼吸道是最敏感的器官, 不管是否存在肺损伤和胃肠损伤, 喉损伤总是存在。因而作者认为喉损伤可作为预示其他器官受累的一个敏感指标。本研究发现肺仍是最易受伤的器官, 为此, 我们认为对弱冲击波的防护主要应着眼于胸部的防护。

影响冲击波致伤的因素主要有超压, 正压作用时间和接受冲击的次数。Phillips等^[2]用绵羊进行等超压不同冲量和等冲量不同超压连续20次化爆的研究, 结果发现影响伤情的重要性依次为超压、冲量和爆炸次数。本实验的结果表明: 伤情随超压升高、作用时间延长而加重。

在超压和正压作用时间一定时, 多次重复冲击对伤情也有明显的影响, 可使损伤发生率升高, 阈值降低, 程度加重。Yelverton等^[3]报导绵羊经受18 kPa连续50次冲击后, 上呼吸道损伤的发生率为33%, 而18 kPa连续100次冲击后, 则上呼吸道的发生率可上升到83%。本研究发现单次化爆即使峰压达77 kPa, 上呼吸道仍未见损伤, 但峰压67.86 kPa连续20次爆炸, 上呼吸道损伤的发生率可达75%。Richmond等^[4]报导了绵羊和猪在正压作用时间为10ms时, 单次冲击上呼吸道和胃肠道的损伤阈值分别为66 kPa和83 kPa。若进行连续50次冲击, 则损伤阈值分别降为18~37 kPa和52 kPa。而如果用单次损伤阈值进行连续50次冲击, 则可使损伤加重, 造成中度上呼吸道和胃肠道损伤。本实验的结果也表明经受多次重复冲击可显示累加效应, 使损伤阈值降低, 如以表3中序号3和序号7相比, 1次冲击与20次冲击相比, 损伤阈值由41 kPa降为20.2 kPa, 下降50%左右。

Pfander等^[5]报导炮手位的峰压为22~36 kPa, 该值正好是本研究发现的脏器损伤阈值的范围。如炮手长时间暴露于这种环境中, 对健康十分有害。因而有必要进一步研究, 以制订相应的安全标准和防护措施。

参 考 文 献

- [1] Rusca R., Experimentelle untersuchungen ueber die traumatische druckwirkung der explosionen. Ztschr. Chir. (1915), 132-315.
- [2] Phillips Y.Y. et al., Applied and Basic Aspects of Noise Induced Hearing Loss. Plenum Publishing (1986), 400.
- [3] Yelverton J.T. et al., Bileffects of simulated muzzle blasts, Eighth International Symposium on Military Application of Blast Simulation. (1983)20-24, Spiez Switzerland.
- [4] Richmond D.R. et al., The biological effects of repeated blasts. DNA 5842F (1981).
- [5] Pfander E. et al., Report to NATO Panel III "RSG-6, Effects of Impulse Noise" May (1983).

THE BIOLOGICAL EFFECTS UNDER REPEATED AIR BLAST SHOCK WAVES

Yang Zhihuan, Tang Chenggong, Wang Zhengguo

(Research Institute of Surgery, Third Military Medical College)

Yao Desheng, Liu Zhengbang, Chen Tian

(Equipment Technology Institute of the General Staff Headquarters)

ABSTRACT Forty-six adult sheep and goats weighing 15.2-42.2 kg were used for this study. Using the TNT chemical explosion and BST-I shock tube, the animals were inflicted to determine the effects of repeated blasts. Morphological examinations were carried out 6h after injury. The results showed that the repeated blasts resulted in superimposed effects and revealed the increase of incidence and severity of injury, the reduction of the threshold value of the overpressure inflicting internal organs.

KEY WORD biological effect, repeated blasts, threshold value.