

# 冲击波负压与肺损伤\*

张均奎 王正国 冷华光 杨志煊  
孙立英 李晓炎 尹友国 马晓华

(第三军医大学野战外科研究所 重庆 630042)

**摘要** 着重研究不同水平的冲击波负压峰值对大白鼠和家兔肺的影响。将 Wistar 系大白鼠分为6组,每组10只,其中一组为正常对照组,其余5组分别暴露于平均峰值为-53.7kPa 至-85.9kPa 的冲击波负压环境中。伤后立即解剖动物,重点观察肺伤情,同时用6只家兔暴露于冲击波负压环境中,另6只为对照组。实验结果:在上述冲击波负压环境中,肺可出现从无伤至极重度伤的伤情,肺出血充血以及肺表面压痕与肺冲击伤的表现非常相似。随着冲击波负压峰值的变化,各组肺伤情亦随着变化,且相关非常显著,各实验组动物肺伤情与对照组相应的肺伤情相差显著。实验证明,一定条件下的冲击波负压对大白鼠和家兔肺具有明显的致伤作用。

**关键词** 冲击波 冲击波负压 冲击伤 肺损伤

冲击波超压具有明显致伤能力和破坏作用<sup>[1]</sup>,单纯冲击波负压往往被认为没有致伤作用<sup>[2]</sup>。在平时和战时,人们经常遇到负压环境,如化爆和核爆产生的冲击波具有明显的负压成份,至今还没有直接的实验证据来肯定或否定冲击波负压对肺的致伤作用。

所谓冲击波负压,就是冲击波波阵面过后,空气介质稀疏引起的大气压力低于正常大气压的状态,决定冲击波负压的主要参数为负压峰值、下降时间和持续时间。

## 1 实验材料和方法

冲击波负压发生装置由真空泵、低压舱、实验舱、破膜机构、真空表、真空泵、电磁真空阀和真空胶管等构成,其工作原理已在相应的文献中描述<sup>[3,4,5,6]</sup>。

Wistar 系成年大白鼠60只和家兔12只,性别不拘。大白鼠腹腔内1.5%戊巴比妥钠液麻醉,家兔耳缘静脉内麻醉,将其固定在实验舱内。根据实验舱内压力的不同,将大白鼠分为六组,其中一组为对照组;家兔分为两组,其中一组为对照组。动物致伤后,观察其存活情况,伤后约半小时内解剖动物。夹闭气管,取出肺脏,观察病变,称重,测定各肺叶出血表面积,计算肺/体指数。

所有指标以平均值±标准差表示,用 *t* 检验和单因素方差分析各组数据。设显著性水平  $p < 0.05$ 。

## 2 实验结果

### 2.1 冲击波负压与动物伤情的关系

\* 国家自然科学基金资助项目。

1992年12月12日收到原稿,1993年6月25日收到修改稿。

表1表示冲击波负压参数与动物(大白鼠和家兔)伤情的关系。从表1可以看出,随着冲击波负压峰值的增加,大白鼠肺损伤发生率(肺伤率)增高,肺/体指数和肺出血面积增加,且各组肺/体指数和肺出血面积与对照组相差非常显著( $p < 0.01$ ),肺伤率与负压峰值相关显著( $p < 0.01$ );家兔肺/体指数和肺出血面积与对照组相差非常显著( $p < 0.01$ )。

表1 冲击波负压参数与动物伤情

Table 1 Relationship between underpressure parameters and severity of injured animals

种 类	组 别	动 物 数	体 重 /g	峰 值 /(-kPa)	下 降 时 间 /ms	持 续 时 间 /ms	肺 伤 率 (%)	肺/体 指 数 (%)	肺 出 血 面 积 /mm <sup>2</sup>
大 白 鼠	1	10	132.3±12.7	67.2±3.1	5.0±0	21.3±1.9	30	1.10±0.30	62±142
	2	10	127.2±12.4	53.7±4.9	5.0±0.4	96.0±2.5	20	0.83±0.07	10±29
	3	10	131.2±10.5	65.1±0	5.6±0.2	109.6±5.4	30	1.00±0.17	74±125
	4	10	126.0±18.6	75.9±1.5	5.5±0.2	121.0±9.0	50	1.12±0.45	649±1103
	5	10	135.3±10.7	85.9±1.6	5.0±0	128.8±1.6	80	1.53±0.81	746±1227
对 照	6	10	179.3±19.8	—	—	—	—	0.42±0.09	—
家 兔	1	6	1830±220	87.8±2.4	7.0±2.1	297.5±4.3	83	0.70±0.14	1215±1279.6
	对 照	2	6	1834±120	—	—	—	—	0.50±0.07

## 2.2 动物肺大体观

肺的主要病理改变为不同程度的充血、出血和肺水肿。肺出血为点状、斑片状到大片状,以下叶多见,严重时可累及全肺、伴不同程度的肺水肿(图1);部分肺表面出现条状出血压痕(图2),与典型的肺冲击伤表现非常相似;有时脏层胸膜下肺泡破裂,融合形成肺大泡,可见肺大泡内出血,与气体交混(图3);严重时,肺组织破裂(图4),形成气气胸。



图1 家兔双肺下叶严重出血,伴肺水肿

图2 家兔右肺表面出血性条状压痕

Fig.1 Pulmonary hemorrhage in double lower lobes in a rabbit, accompanied by pulmonary edema

Fig.2 Typical stripes of hemorrhagic markings on the right lung surface of a rabbit

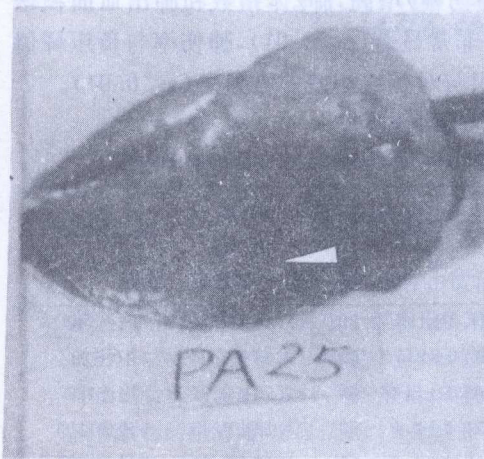


图3 家兔右肺下叶出血性肺大泡

Fig. 3 Subpleural cyst in the right lower lobe of a rabbit



图4 家兔右肺下叶条状破裂

Fig. 4 Pulmonary rupture in the right lower lobe of a rabbit

### 3 讨论

从本实验结果看,一定强度的冲击波负压对大白鼠和家兔肺具有明显的致伤作用,本实验所采用的冲击波负压参数均在我们所见的化爆、核爆条件下的冲击波参数值范围之内<sup>[6]</sup>。冲击波负压峰值越大,持续时间越长,伤情越重,这种量效关系与冲击波超压的量效关系相似<sup>[1,2]</sup>。衡量动物伤情的主要物理参数之一为冲击波负压峰值和降压倍数。在比较冲击波超压和冲击波负压的量效关系时,发现与同等伤情相对应的超压峰值和负压峰值相差较大,如 $-76.1\text{kPa}$ 的冲击波负压(持续时间约为 $1660\text{ms}$ )可引起 $50\%$ 的死亡率<sup>[6]</sup>,而冲击波超压(持续时间为 $20\text{ms}$ )峰值的 $\text{LD}_{50}$ 为 $240\text{kPa}$ <sup>[7]</sup>。在此,若用压力变化倍数指标来衡量冲击波压力与伤情的量效关系,则可解决超压峰值和负压峰值差别过大的矛盾。如上例<sup>[7]</sup>,此时大气压为 $82.32\text{kPa}$ ,超压峰值的变化倍数为 $(240+82.32)/82.32=3.9$ 倍;对于冲击波负压,从 $98\text{kPa}$ (约一个标准大气压)降到原来压力的 $1/3.9$ ,则此时的绝对压力为 $25.1\text{kPa}$  负压峰值为 $-72.9\text{kPa}$ ,与实验中<sup>[6]</sup>的冲击波负压峰值的 $\text{LD}_{50}-76.1\text{kPa}$ 接近。因此,压力峰值的变化倍数可能是衡量冲击波量效关系的较好指标。然而,在考虑超压和负压变化倍数关系时,应注意压力持续时间对伤情的影响。

目前对冲击波负压的致伤机理不太清楚,推测可能与它所致含气器官的扩张有关<sup>[6,8]</sup>,即:1)含气器官的扩张,组织过度的机械性拉伸,极易造成扩张性损伤;2)肺组织直接撞击胸壁引起损伤,可能因为肺组织比胸壁扩张更快,扩张的幅度更大。

关于冲击波负压的致伤特点有必要进一步深入探讨,包括不同强度、持续时间和降压时间的冲击波负压的影响,冲击波负压的致伤机理,及其与冲击波超压致伤的共同点和区

别。

### 参 考 文 献

- 1 王正国. 冲击伤. 北京:人民军医出版社,1985,1~92
- 2 Phillips Y Y, et al. Chapter 6 Primary Blast Injury and Basic Research; A Brief History, Textbook of Military Medicine, 1991, 222~240
- 3 Latner A L. The Low-pressure Phase of Blast, Lancet, 1942, II, 303~304
- 4 张均奎,等. 冲击波负压对大白鼠致伤作用的初步观察. 中国应用生理学杂志,1992,8(3):251~255
- 5 张均奎,等. 冲击波负压发生装置的研制及其应用. 第三军医大学学报,1992,11(6):551~554
- 6 张均奎. 冲击波负压的致伤作用和致伤机理:[博士论文]. 重庆:第三军医大学,1992
- 7 Richmond D R, Damon F G, Fleteher F R, et al. The Relationship Between Selected Blast Wave Parameters and the Response of Mammals Exposed to Air Blast. DASA-1860 Albuquerque, New Mexico, 1966
- 8 Fung Y C, et al. A hypothesis on the Mechanism of Trauma of Lung Tissue Subjected to Impact Load, ASME J Biomech Eng, 1988,110:50~56

## UNDERPRESSURE OF BLAST WAVE AND LUNG INJURY

Zhang Junkui, Wang Zhengguo, Leng Huaguang, Yang Zhihuan,  
Sun Liying, Li Xiaoyan, Yin Youguo, Ma Xiaohua

(Research Institute of Surgery, Third Military Medical College, Chongqing, 630042)

**ABSTRACT** The effects of the peak level of the underpressure on the lungs of the rats and rabbits were observed. Sixty rats, ten for each group, were divided into six groups, one of which served as the control one. The other five groups and six rabbits were exposed to the underpressure with the peak levels ranged from  $-53.7\text{kPa}$  to  $-87.8\text{kPa}$ . All animals were killed in thirty minutes after exposure and the emphasis was put upon the lung severity. The experimental results showed that the lungs were damaged with the severity from mild to extremely severe degree, and the pulmonary congestion, pulmonary hemorrhage and the hemorrhagic markings on the lung surface were closely similar to the appearance of the lung blast injury. The incidence and severity of the lung injury dependent on the peak level of the underpressure, and are significantly correlated with each other. The difference is significant between the experimental group and the control one. It is therefore concluded that the underpressure of the blast wave can inflict injury on the lungs of rats and rabbits

**KEY WORDS** blast wave, underpressure, blast injury, lung injury