DOI:10.16016/j.1000-5404.1985.03.003

冲击波瞬时生物效应的高速摄影研究

郑世钢 李应玉 刘大维 马孝华 王正国

（野战外科研究所 四室）

提要 本研究用三只狗观察了生物体在受冲击波瞬间体腔的变化。通过三种不同速度的高速摄影（563幅/秒，6526幅/秒和1526幅/秒）证实。当狗接受0.777kg/cm² 超压时，体腔平均被压缩11.7%。作者结合以往实验及其文献进行了讨论，初步认为被压缩的11.7%可能与血液动力学急剧变化所造成的严重肺损伤有关。

关键词 冲击伤；高速摄影；瞬时效应；冲击波；胸部压缩

随着冲击伤致伤机理研究的不断进展，对于生物体受到冲击波作用后瞬态变化的研究越来越显得重要了。近年来有的作者用高速摄影观察了冲击波本身扩散情况[1]或作了模似肺在接受冲击波作用时的高速摄影观察[2]。但对完整生物体受冲击波作用时的高速摄影尚未见有报告。大多数研究冲击伤的学者[1][2][3]认为，原发冲击伤主要由于外周压力急剧增高而使生物体被快速压缩所致。本文通过对三只整体狗被冲击波作用时的高速摄影分析，瞬态体腔的压缩可能是造成肺损伤的主要原因。这为探讨肺冲击伤血液动力学致伤机理提供了论据。

材料与方法

实验动物为四川地区健康成年雄性杂种狗三只，平均体重12.6±0.72kg。

致伤源为“模似激波管”，管长310cm，管口内径70cm。爆炸物是200g TNT炸药一块。置于距管口280cm的尾部，悬吊于管腔内，电雷管起爆。超压测试采用72型压力自记仪。

高速摄影机为东德Pentazet 35型，采用室外自然光，拍摄光圈f=5.6～8，拍摄时标1000Hz，45mm镜头。计划摄频为500幅/秒，1500幅/秒，8000幅/秒。读片采用Pentazet 35型底片显微分析平台。

实验前动物在禁食下行静脉内麻醉（1.5%戊巴比妥1.8ml/kg）。而后进入现场，左侧立位悬吊于距管口呈15度倾斜位的1m处木架上（木架重约0.5kg）。高速摄影机放置在与动物呈垂直方向8m处或呈45度角的15m处。电雷管起爆同步拍摄（图1）。

致伤后24小时，行大体解剖观察判定伤情并留取组织作镜下观察。

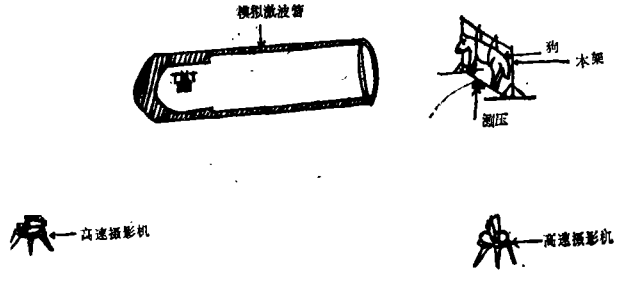


图1、 冲击波瞬时生物效应的高速摄影简图

实验结果

相当于实验动物布放的位置，实测超压值平均0.777±0.042kg/cm²。爆后动物平

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

均被抛射19.8±3.81m（见表1）。

表1 实验的一般结果

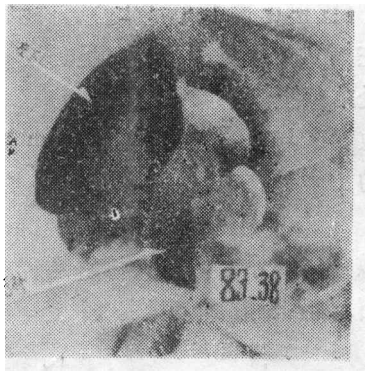
动物号	体重 (kg)	布放距离 (m)	抛射距离 (m)	超压峰值 (kg/cm²)
38	11.8	1	15.4	0.79
40	12.8	1	22	0.81
41	13.2	1	22	0.73

动物伤情 38号狗为重度伤，其余两只均呈中等度伤情（见表2）。伤情的结果与以往损伤大体一致，即以肺、听器损伤为主。而肺损伤以右补充叶和朝向爆心的左侧下叶为重（图2）。

高速摄影的结果列入表3。经底片显微平台分析，冲击波平均到达狗体的时间是3.464±0.516ms。狗体腔平均被压缩11.700

表2 实验动物、损伤情况

动物号	肺损伤		听器		其它器官	总伤情
	出血	水肿	鼓膜破裂	听小骨骨折	损伤情况	
38	+++	++	双侧	左侧	肾皮髓质点状出血	重度
40	++	++⁻	左侧	—	脾头小血肿	中度
41	++⁻	—	双侧	双侧	—	中度⁻



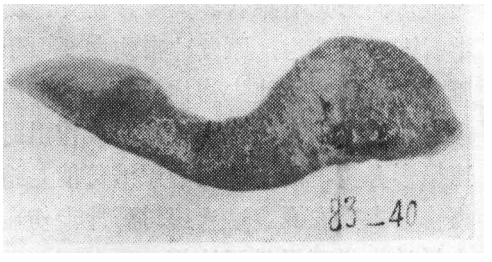


图2、 38号狗肺右补充叶和左下叶损伤严重；40号狗脾头小血肿

±0.967%。

此外狗受到冲击波动压的爆风冲击后以9.11m/sec的速度向前翻滚，最大运行速度可达14.57m/sec。在运行中始终保持头在前，尾在后的姿态（图3）。

表3 高速摄影结果分析

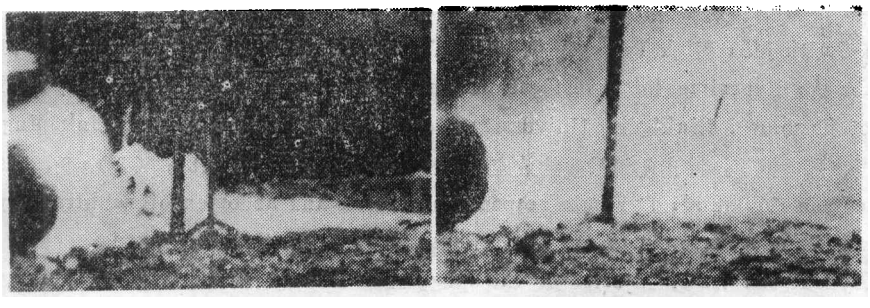
动物号	实际摄频 (幅/秒)	冲击波到达狗体时间 (ms)	狗体被压缩率 (%)
38	563.160	3.552	10.77
40	6526.30	2.910	12.70
41	1526.33	3.930	11.63

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



第0画面
（0秒）
A　致伤前动物布放情况

第1画面
（0.655毫秒）
B　致伤开始，炸药爆炸后闪光照在狗体上



第7画面
（3.93毫秒）
C　冲击波到达狗体表面

第44画面
（27.165毫秒）
D　动压造成木架破碎、狗体抛起



第58画面
（37.335毫秒）
E　冲击波完全脱离管腔剩余烟尘从管内溢出

第241画面
（157.20毫秒）
F　狗体向前运行

图3、 41号狗接受冲击波时运行状态A—F画面（摄频1526.33幅/秒）

讨　论

在冲击伤致伤机理的研究中，Clemedson[4]认为，如动物体被压缩10～30%可造成严重的肺损伤。由于水的不可压缩性[5]，当机体受冲击波超压时，体内可流动的液体即向低压区或含气空腔压缩，进而造成以肺损伤为特点的冲击伤。

作者等[3]在冲击波瞬时生物效应的研究中，基于以往动物（狗）试验的病理发现，即肺冲击伤以背向爆源的右补充叶损伤为重（出血发生率93.6%）。采用微导管压力传感器，观测到了致伤瞬间心内压，肺血管内压呈百倍增加。继而提出血液动力学在肺冲击伤致伤机理中具有重要作用的初步看法。作

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

者等[6]又在最近另一次实验中，发现当给狗放血40%后再接受冲击波，动物不发生或很少发生肺冲击伤。结果有力地支持了肺冲击伤的血液动力学致伤机理。

本试验在同以往致伤条件相同的情况下，采用高速摄影观察到，瞬间狗体被压缩11.700±0.967%。这与 Clemedson 的结果相一致。那么，被压缩的11.7%似乎主要是胸腹腔和可驱动的血液。因为生物体腔内最大含气器官是肺和肠道，而且是低压区。因而在被压缩时按Starling 流体学说，可流动的血液急剧流向肺和肠道。在超负荷的情况下造成肺泡破裂、出血、水肿、不张等一系列病理变化。这在以往的放血实验中（放出的血占总体重的4%）以乎也证实了这一点。当然有关冲击伤致伤机理与高度摄影结果更密切的关系，尚需进一步深入研究。

参 考 文 献

1. Owen-Smith MS: High Velocity Missile Wound. First Pubilished, London, 1981
2. Jönsson A: Experimental Investigations on the Mechanisms of Lung Injury in Blast and Impact Exposure. Linkôping University Medical Dissertation, No 80 Linkôping, 1979
3. 王正国、郑世钢等：冲击伤瞬时生物效应的研究。解放军医学杂志1983；（8）：5，329
4. Clemedsson CJ, et al: Dynamic response of thorax and abdomen of rabbits in partial and whole-body blast exposure. Am J Physiol 1969; 216（3）:615～620
5. Stapczynski JS: Blast Injuries of the lung. Ann Emerg Med 1982; 11（2）:689～694
6. 郑世钢、张清华等：肺冲击伤血液动力学致伤机理的探讨。解放军医学杂志，1984（9）：3，200

A Study of Instantaneous Biological Effects of Blast Waves with High-speed Photography

Zheng Shigang, Li Yinyu, Liu Dawei, Ma Xiaohua, Wang Zhengguo

(Research Institute of Surgery, Third Military Medical College)

The instantaneous changes of the body cavities under the impact of blast waves were studied in three dogs. The changes were recorded with the high-speed photography of three different speeds (563, 1526, and 6526 frames/second). It was demonstrated that there was an 11.7% reduction on average of the body cavities due to compression after 0.777 kg/cm^2 of overpressure was received.

In correlation with the authors' previous research work and with the relevant literature, it is believed that the 11.7% reduction is likely related to the severe pulmonary injury which is resulted from the abrupt disturbance of hemodynamics after blast wave impact.

Key words: Blast Injury; High-speed Photography; Instantaneous Effects; Blast Waves; Chest Compression

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net