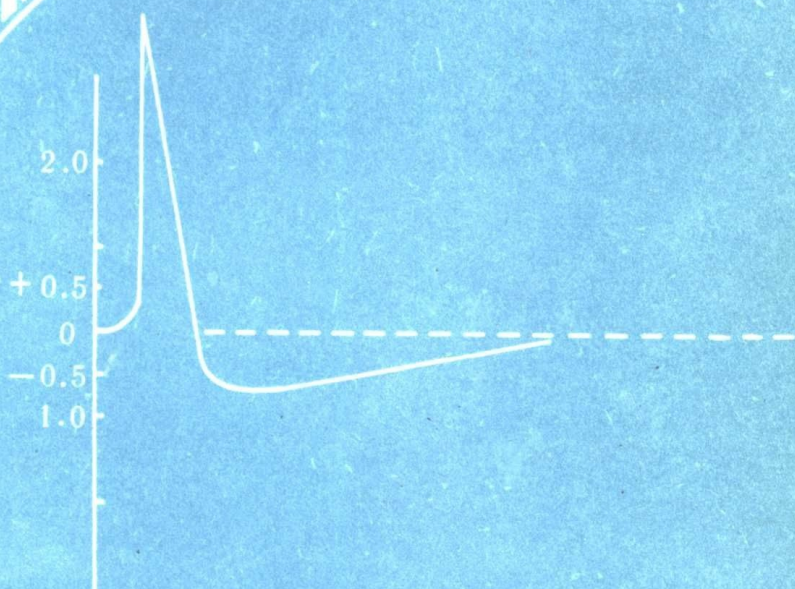


冲击波损伤动物实验

郭 光 主编



人民军医出版社

冲击波损伤动物实验

CHONGJIBO SUNSHANG DONGWU SHIYAN

主 编

郭 光

著 者

(按姓氏笔划排)

王之贤 笔庚武 尹加才

麦智平 杨葆莉 张亚霏

陈宜常 郭 光

人民军医出版社

1988 · 北京

内 容 提 要

冲击波损伤是最重要的战伤之一。因此,冲击波损伤的研究是建设现代化军队的重要课题。军事医学科学院郭光教授致力于此项研究工作近三十年,在实验室和野外现场利用狗、兔、豚鼠和小白鼠等大小不同的实验动物对于冲击波损伤因素、冲击波损伤病理变化、冲击波损伤病理生理、冲击波与放射性复合损伤和冲击波损伤防护措施等方面进行了深入研究观察,本书就是以此为基础,并参考有关文献写作而成。

本书资料丰富,论述严密,对特种兵的战备训练、科研工作和防御工事设计施工等有重要参考价值,对军医和一般临床医生在冲击波损伤急救、诊断、治疗和护理上也有理论上的参考价值。

前 言

炮弹、炸弹、导弹和地雷爆炸时所产生的冲击波，可使邻近的人员受到轻重不等的损伤，轻者仅感到头晕、心慌、恶心、呕吐和全身疲倦等，重者会使头部、胸部和腹部发生疼痛、呼吸困难、失神、休克，甚至内脏破裂出血而死亡。

第二次世界大战，炸伤占伤员总数的60%；抗美援朝战争，我军炸伤占伤员总数的69.5%；美国侵越战争，美军炸伤占伤员总数的71%。核武器出现后冲击波损伤更加突出。据美国Sirs估计，1945年8月日本广岛、长崎两地原子弹爆炸死难者中，60%是冲击波原发性或续发性损伤致死，25%是放射性损伤致死，15%是光辐射损伤致死。可见冲击波损伤是最重要的战伤之一。平时工矿企业发生意外爆炸事故，也会遇到许多冲击波损伤的伤员。

冲击波损伤的特点是：伤员数量大，伤情复杂。第二次世界大战后，英国、美国、苏联和瑞典等国科学家进行了许多调查研究和实验观察，他们对冲击波损伤因素及其影响进行控制性实验，取得了很多成绩。

冲击波损伤的研究，是建设现代化军队的重要课题。1958年装甲兵司令部首先向总后勤部卫生部提出冲击波损伤的研究任务，总后勤部卫生部即要第二军医大学从有关各学科抽调科技人员组成冲击波损伤研究小组，并指定郭光为组长。该研究小组1958年到1959年在第二军医大学，1959年到

1962年在军事医学科学院结合装甲兵、炮兵和工程兵战备训练实际，用各种实验研究方式进行了爆炸冲击波、炮口冲击波、弹道冲击波和爆破冲击波损伤的动物实验。在实验室和野外现场利用狗、兔、豚鼠和小白鼠等大小不同实验动物对于冲击波损伤因素、冲击波损伤病理变化、冲击波损伤病理生理、冲击波与放射性复合损伤和冲击波损伤防护措施等方面进行了研究观察。本书就是以这几年各项实验研究为主要内容，并且参考军事医学科学院三所1958年6月进行的爆炸冲击波损伤动物实验有关病理生理变化部分材料所写成的总结。本书初稿曾经总参谋部装甲兵部、炮兵部和工程兵部科研和军训部门审查，并根据他们的评审意见作了修改与补充，使得本书内容得到一定的充实与提高。

“冲击波损伤动物实验”包括实验室研究和现场实验都是密切结合特种兵战备训练实际进行的。因此，本书内容对于特种兵的战备训练、科研工作和防御工事设计施工等都有重要的参考意义，对于军医和一般临床医生在冲击波损伤急救、诊断、治疗和护理上也有理论上的参考价值。

承蒙总参谋部装甲兵部首长对本书出版给予热情的关怀和资助，还得到总参谋部炮兵部和工程兵部领导机关的大力支持和帮助，使本书得以顺利出版。

在编写过程中，得到军事医学科学院首长的支持和帮助；刘雪桐教授、朱既生教授、王德文副教授对全书做了详细审阅并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

郭 光

1987年8月

目 录

第一章	爆炸冲击波损伤动物实验·····	(1)
第二章	炮口冲击波损伤动物实验 (一) ·····	(22)
第三章	炮口冲击波损伤动物实验 (二) ·····	(33)
第四章	弹道冲击波损伤动物实验 (一) ·····	(55)
第五章	弹道冲击波损伤动物实验 (二) ·····	(76)
第六章	爆破冲击波损伤动物实验 (一) ·····	(85)
第七章	爆破冲击波损伤动物实验 (二) ·····	(91)
第八章	讨论·····	(109)

第一章 爆炸冲击波损伤动物实验

用 6 kg TNT炸药在离地面1.5m高处进行爆炸，以观察爆炸冲击波的损伤作用和对实验动物的杀伤力，并对动物的生理功能和内脏器官病理变化进行检查，作为对冲击波损伤机理和防护措施研究工作的参考依据。

一、实验设计和实验方法

(一) 现场

在四周都是田野的空旷靶场内选定一块宽200m、长400m的长方形平坦草地作为爆炸实验场地。在场地中央竖立一根竹杆，顶端用细铅丝牵引固定。然后，将用麻袋布包好捆紧的 6 kg TNT炸药包悬挂在竹杆中部距地面1.5m处。这样做的目的是为了便于推算出爆炸冲击波超压值，并且可以避免炸药爆炸时掀起地面泥土、砂石的附加影响，使实验动物仅仅受到爆炸冲击波损伤。

(二) 超压值计算

据文献记载М.А.Кадо́вский 曾用TNT炸药进行多次实验，求得在均匀大气中爆炸时，爆炸冲击波的超压值与TNT炸药重量和爆炸中心（爆心）距离的关系，得出如下经验公式：

$$\Delta P \approx 0.84 \frac{\sqrt[3]{C}}{R} + 2.7 \frac{\sqrt[3]{C^2}}{R^2} + 7 \frac{C}{R^3}$$

式中, ΔP 阵面波——冲击波阵面超压 (kg/cm^2 *)

C —— TNT 炸药重量 (kg)

R —— 与爆心的距离 (m)

据 М·Кузинци 的意见, 爆炸冲击波对有机体的致死超压值为 $68.65 \sim 98.07 \text{ kPa}$ 。按上式计算, 分别将实验动物放置在距离爆心 2 m (超压 809.05 kPa), 4 m (超压 156.42 kPa), 8 m (超压 40.40 kPa) 的内、中、外三圈上, 详见图 1 和

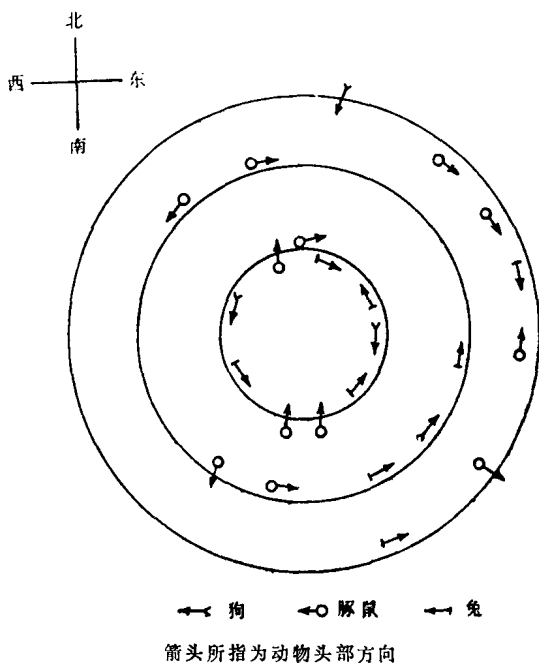


图 1 内、中、外三圈动场布置方位图

• $1 \text{ kg}/\text{cm}^2 = 98.0665 \text{ kPa}$

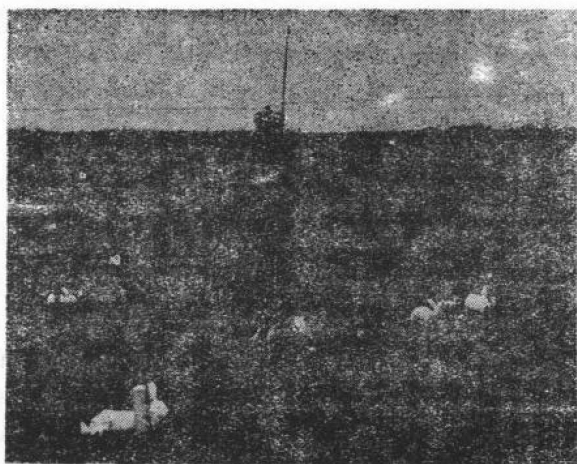


图 2 爆炸前现场布置

图 2。预计炸药爆炸后内圈实验动物将全部死亡，故定为致死圈，用以观察受到重度冲击波损伤致死动物内脏器官的病理解剖学变化；中圈动物将有部分死亡，用以观察受到中等度冲击波损伤后实验动物内脏器官的病理解剖学变化；外圈实验动物将大多数活存，用以观察受到较轻度冲击波损伤后的病理生理变化。

（三）实验动物固定

实验动物共24只，其中狗4只（内圈2只，中圈和外圈各1只），兔8只（内圈4只，中圈、外圈各2只），豚鼠12只（内、中、外圈各4只）。其固定方法是：狗的固定与一般实验室固定法相似，即将其胸部、腹部和前后肢分别用麻绳缚住固定于身体前后方预先楔入地下的木桩上，豚鼠除

先将其前肢与后肢的小腿部用棉绳绑好外，其余固定方法与上同（有个别豚鼠置于铁丝笼中未加固定）。

二、爆炸前后的情况

（一）爆炸方式

采用手拉法燃着导火线，由雷管引爆。由于爆炸是在空中进行的，故声响很大，但无明显震动感。爆炸前，工作人员均隐蔽在距爆心50m以外高坡后面的壕沟中。爆炸后立即按分工跑步进入现场，看到支撑炸药包的竹杆被炸得只剩下三分之一，其余部分被炸裂、烧焦，铅丝被炸断。爆心周围的草地被烧焦，固定动物的木桩有的发生断裂，见图 8。

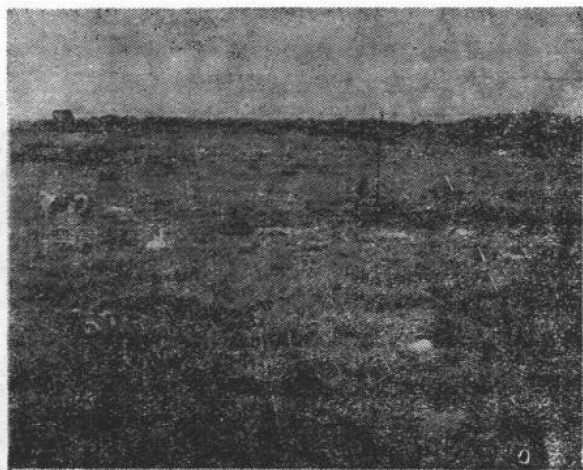


图 3 爆炸后现场情况

(二) 爆炸时气象条件

气温 28.2°C ，相对湿度87%，风向东南，风速 $4\sim 8\text{ m/s}$ 。

(三) 实验动物

炸药爆炸后冲击波对实验动物的杀伤效应列入表1。由表1可见，爆炸后即刻内圈10只动物中除2号狗尚有一息慢而深的呼吸和心跳缓慢外，其余均已死亡。2号狗在爆炸后6~7分钟呼吸和心跳亦停止。死亡的7号和8号两只兔耳被炸伤、离断，身体被抛出4.2m和1.76m以外。其耳部的缺损可能是炸断铅丝的打击或受冲击波动压的打击作用使其头部与地上木桩棱角相碰撞的结果（图4~7）。死亡豚鼠有的皮毛部分被烧焦。中圈7只动物爆炸后即刻死亡3只（4号兔，5号和8号豚鼠），另2只豚鼠（6号、7号）分别于爆炸后10分钟和1小时死亡。外圈7只动物全部活存。

表1 冲击波对实验动物杀伤效应

距离爆心 (m)	动物数	死 即刻	亡 1小时	数 合计	死亡率 (%)
2	10	9	1	10	100
4	7	3	2	5	71.4
8	7	0	0	0	0

爆炸后中圈和外圈活存的动物中由于冲击波损伤的影响均表现为失神和大小便失禁等（图8和9）。

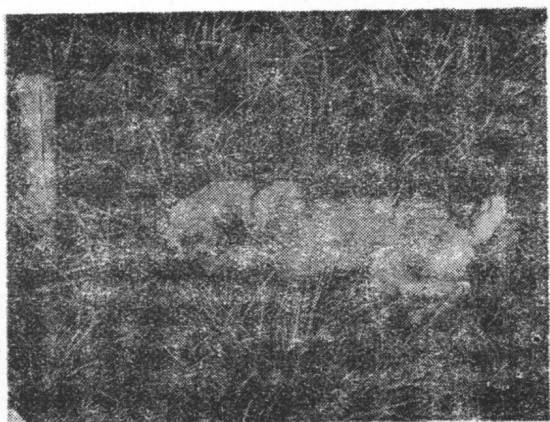


图4 爆炸前内圈的2号狗（较强健）



图5 爆炸后6分钟2号狗死亡



图 6 爆炸前的内圈兔之一

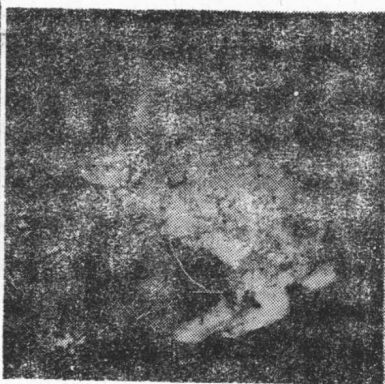


图 7 爆炸后内圈 7 号兔左
耳撕裂、缺损



图 8 爆炸后外圈 4 号狗的神态



图 9 爆炸后外圈豚鼠的神态

三、冲击波损伤致死动物的病理变化

受到爆炸冲击波损伤后立即死亡或经数分钟至1小时左右活存后又死亡的动物共计15只（内圈10只中，狗2只，兔、豚鼠各4只；中圈5只中，兔1只，豚鼠4只）。

对死亡动物采用病理解剖方法进行检查：包括肉眼检查，体腔和脏器检查及重要脏器切片作显微镜检查等。从病理解剖结果来看，几乎全身所有脏器都有出血性损伤。胸腔脏器以肺损伤最为普遍，并且严重；心脏损伤也很明显。腹腔脏器以肝损伤较为严重；胃、肠、肾、脾、胰等都有明显损伤。中枢神经系统主要是脑部的损伤，肉眼和光镜检查均可见有出血；鼓膜和内耳损伤也极为明显。体内各系统的损伤情况简述如下：

（一）呼吸系统

从死亡动物尸解可见肺部损伤最为普遍与明显。可以看到有肺气肿、肺出血、肺破裂、血气胸、咽喉气管损伤、肋膜和纵隔障出血等变化。受冲击波直接打击部分的肺表面损伤比其它部位要严重得多，并且和胸廓（肋骨）结构有密切关系。如受冲击波损伤后死亡的内圈5号兔左肺下叶撕裂处正相当于左6肋靠近脊柱的骨折部位。6号兔右肺下叶脊侧的大块撕裂也恰与右侧第5肋的骨折部位相当。中圈5、6号豚鼠肺表面的斑点状出血的纹路也和其肋骨走向相一致而形成“肋影”（图10~12）。

1. 肺气肿 肺气肿是冲击波损伤最常见的肺部变化。主要是肺泡性肺气肿，也有呈间质性肺气肿病变。镜检所见以狗和兔的病变较为明显。如内圈2号狗肺部呈大泡性肺气肿

图10 内圈6号兔肺表面

- (1) 两侧肺下叶均有破裂损伤；
- (2) 两侧肺广泛弥漫性斑块性肺出血；
- (3) 两侧肺气肿。



图11 内圈5号兔肺表面

- (1) 两侧肺下叶及背面有大块撕裂；
- (2) 两侧肺上叶均有斑块状及点状肺出血；
- (3) 两侧肺气肿；
- (4) 气管内有大块凝血栓堵塞。

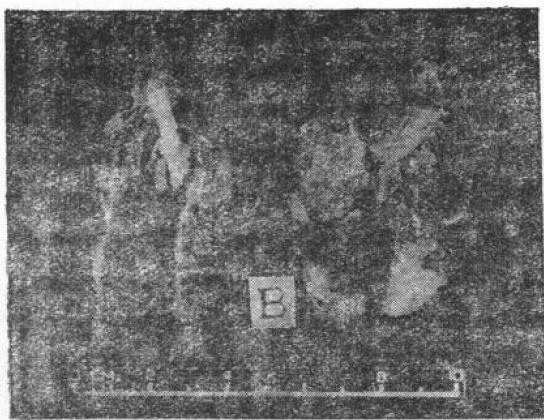


图12 中图6号豚鼠(左)和5号豚鼠(右)两侧肺表面有斑点状肺出血,其纹路与肋骨走向一致。

(图13),豚鼠受冲击波损伤后肉眼观察可见其肺脏体积膨胀(不太明显),但显微镜下则可见其肺脏均呈明显的急性肺泡性气肿。有的可见肺泡腔单纯性扩大,肺泡壁变薄,有的还可看到肺泡壁断裂形成大的肺泡腔。

2. 肺出血 是冲击波损伤动物共有的变化。其表现是两肺表面呈弥漫性斑块状或斑点状出血(图10~12),镜检时可看到广泛性出血病变,按其

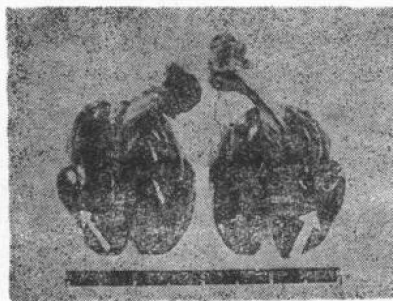


图13 内图2号狗左肺中下叶有极明显的大泡性肺气肿

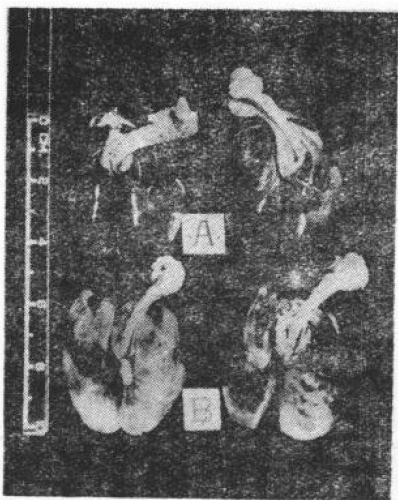


图14 A:内圈豚鼠肺表面弥漫性肺出血和重度肺气肿;
B:中圈豚鼠肺表面斑块性肺出血和轻度肺气肿。

有明显差别。中圈的兔和豚鼠与内圈的同类动物相比，中圈动物肺出血稍为轻些（图14）。

3. 肺破裂 属于较重的肺脏损伤。本实验中共有8只动物肺破裂，其中狗2只，兔和豚鼠各3只，均为内圈动物。以内圈1号和2号狗为例，详述如下：

1号狗尸解后可见其两肺表面呈现暗红色，有广泛的出血斑块和斑点，并有多处肺破裂损伤。在右肺上叶内侧面有广泛破裂，中叶内侧胸膜面破裂约为 $2.0 \times 1.5\text{cm}$ ，下叶隔面有 $3.5 \times 1.0\text{cm}$ 的撕裂伤。左肺上叶内侧胸膜面破裂约为 $1.5 \times 1.0\text{cm}$ ，奇叶上亦可见到破裂面。此外，左肺上、下叶都有许多大小不等的气泡，尤以内侧面为明显，切面肺组织呈现出血及肺泡性肺气肿性改变（图15）。

2号狗两肺表面除有弥漫性斑点状出血外，还有几个大泡，以左肺中、下叶尤为明显，大小可达 $4.5 \times 5.0\text{cm}$ 与 $4.5 \times 4.0\text{cm}$ ，左下叶的大泡已破，上面有血凝块覆盖，大泡腔内充满血液而成为血肿，但其中仍可看到气泡，其切面呈广泛性出血及肺泡性肺气肿样变（图16）。