DOI:10.16016/j.1000-5404.1999.07.030

经验交流

一种爆炸伤致伤实验模型*

A new experimental model for studying blast injury

张良潮** 李曙光 凌 烽 王大田 李兵仓 安 波 王丽丽 (第三军医大学附属大坪医院野战外科研究所第六研究室) 重庆,400042

提 要 目的:旨在为爆炸伤的研究能在可控、定量下进行提供可靠条件。方法:采用由爆炸源、弹片发射器和同步控制系统组成的实验装置。采用高速摄影(2 000~8 000 f/s)和高速X线摄影(10 000 f/s)的方法,对爆炸和破片冲击靶标介质的变形、位移等作用的动态过程进行瞬态影像采集,以定量和直观地描述其作用过程的量效关系。结果:点爆源爆炸时压力随离爆心的距离增大而逐渐减小,并呈指数关系。局部伤情损伤严重,远隔组织肺及心内膜均出现散在点片状出血。结论:本方法可调节爆源的距离和破片速度,从而使压力波可控达到实验的模拟目的。

在现代高科技战争中,爆炸性武器越来越多地使用到战争中,使得当前火器伤的伤情结构发生了明显的变化,如:弹片伤、多发伤增多;残废率、伤死率升高[1,2]。爆炸性损伤常是多种物理因素同时或相继作用于机体,给实验研究带来许多困难。为此,我们在大量模拟介质和动物实验的基础上,探索出一种爆炸伤致伤实验模型,旨在为爆炸伤的研究能在可控、定量下进行提供可靠条件。

1 材料和方法

1.1 爆炸实验装置设计

根据爆炸性武器致伤时爆轰波、冲击波、弹片等主要致伤物理因素的特点,采用主要由爆炸源、弹片发射器和同步控制系统以组成实验装置。

1.1.1 爆炸源 爆炸源放置部位距传感器与动物弹着点距离分别为5、10、15、20 cm,传感器感应面正对爆心。主装药采用爆速为6 726 m/s、爆压为33.7 GPa、爆热为5.439 MJ/kg、爆温为4 000 K的单质猛炸药黑索金(RDX),其密度为1.20 g/cm³的柱装药0.4 g DDNP引爆药,电击发起爆的爆炸源,其爆炸作用半径和超压,根据下式计算装药量来定量控制:

$$\triangle P=0.84\times W^{1/3}/R+2.7\times W^{2/3}/R^2+7\times W/R^3 \cdots\cdots 公式1$$

△P:冲击波超压(kPa);W:装药量(g);R:冲击波作用半径(m)

1.1.2 弹片发射 爆炸性武器通常是在炸药爆炸过程中激发大量的弹片(自然、半预制、预制)来达到大面积杀伤的目的,亦称面杀伤武器。本实验模型采用滑膛枪,于爆炸源起爆瞬间及起爆前后任意时刻,同步控制发射Φ7.62 mm以下单个球形和自然预制破片,破片的速度可根据实验要求,通过调整发射药的装药量,定量控制在250~1 400 m/s内的任意设定速度,在杀伤半径内其波动范围≤±20 m/s。

1.1.3 同步控制系统 主要包括发射器、触发器和起爆装置。利用破片动能触发整个同步控制系统,系统一旦启动,起爆装置、高速摄影、压力和速度场测试均进入微秒级自动控制状态。

1.2 检测指标

1.2.1 破片速度检测 发射器抛射破(弹)片的速度,由TC系列非接触式激光探测器检测。根据检测到的速度值,利用下列公式计算出靶前、后弹道上任意点的速度。

弹道上任意点速度计算公式(其计算误差与该点实测值误差不大于±1.8 m/s):

$$V=Vm\times e^{-kx/d} \cdots\cdots 公式2$$

其中V:任意点速度(m/s);Vm:测试速度(m/s);X:Vm与V之间的距离(m),投射物飞行方向为正,反之取负值;d:球形破片的直径(mm),或自然破片的标称尺寸。

1.2.2 靶标作用效果 为定量描述爆炸伤的致伤效果,除对弹片的撞击速度和爆炸压力场的作用强度进行定量检测外,我们采用高速摄影(2 000~8 000 f/s)和高速X线摄影(10 000 f/s)的方法,对爆炸和破片冲击靶标介质的变形、位移等作用的动态过程进行瞬态影像采集,以定量和直观地描述其作用过程的量效关系。

* 全军"九五"攻关项目,No. 96L039

** 张良潮,男,32岁,助理实验师

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

2 结果

2.1 速度

利用五三式滑膛枪发射出不同破片速度以模拟爆炸时的破片速度，见表 1。

表 1 破片的四种速度(m/s)

V_{m1}	Vc	Vs	V_{m2}
633.4	594.7	315.2	317.8
730.2	685.6	373.4	368.8
1 024.8	962.3	483.6	677.7
1 402.7	1 317.9	655.3	647.2

V_{m1}，V_{m2}为测试速度；Vc 为撞击速度；Vs 为剩余速度

2.2 压力

将压电式传感器埋置于动物受冲击面的皮下组织内检测距爆源不同距离上爆轰波的压力强度，以确定压力强度与组织损伤的关系。其实测压力值见表 2。

表 2 空气中点爆源爆炸时压力传感器所测压力值

雷管距传感器距离(l/cm)	压力值(ρ/kPa)
5	1309.3
10	606.6
15	174.4
20	69.6

根据表中所测压力值数据看，雷管爆炸时的压力随离爆心的距离增大而逐渐减小，而且呈指数关系，见图 1。所以，在实验研究中对动物致伤的程度可以根据实验的要求而调整，以满足不同实验目的的需要。

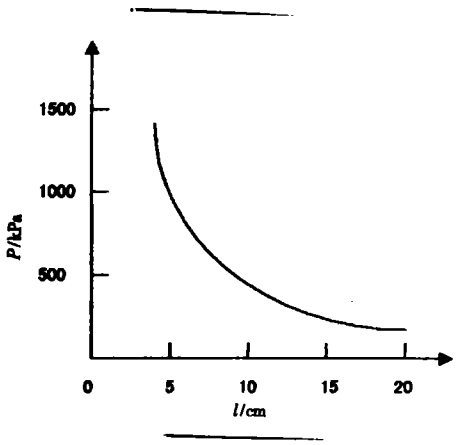


图 1 压力值与距离的关系

2.3 作用效果

我们在颅脑爆炸伤(枪＋爆)实验应用中，其伤情均较单一破片致伤时严重。伤道长度在 5.5～6.5 cm 之间，且额骨骨折，硬脑膜下出血，脑组织受损，其范围可达 4.0 cm×2.0 cm，脑实质周围轻度水肿，脑沟略浅，脑回稍宽。除局部伤情外，远隔组织肺及心内膜均出现散在点片状出血。

3 讨论

3.1 爆炸性武器致伤的特点

爆炸性武器致伤主要包括冲击波、破片、爆轰波和高温等多种物理因素[1,2,4]。而冲击波主要是压力波的作用，压力峰值越高，压力上升时间越短，则伤情越严重；反之则使伤情减轻[2]。本方法可调节爆源的距离和破片速度，从而使压力波可控，达到实验的模拟目的。

3.2 本实验方法所模拟的范围

海湾战争中据美军陆战队一组 120 例伤员的报告，由弹片、炮弹和地雷致伤占 42.5%；另一组 204 名伤员的调查结果表明，弹(破)片伤的发生率为 68%，其中由面杀伤性武器碎片引起的比例为 42%，较越战有所上升[3]。由此可见爆炸性武器的应用越来越广泛，伤情愈加广泛而复杂，有必要进行深入、系统的研究，以降低伤残率和伤死率，提高部队的战斗力。

本实验模型主要模拟手榴弹、枪榴弹、地雷等单兵或小型爆炸性武器，为爆炸伤的基础理论和临床救治研究提供依据。

3.3 爆炸性武器致伤定量实验的发展趋势

随着高新技术越来越多地应用到战争，使得爆炸性武器广泛的运用，而且具有威力大、杀伤性及破坏性强。本方法主要是利用爆炸源复合单一破片致伤动物，而不能全面地反映爆炸性武器的威力，尚需进一步研制诸如爆炸舱等实验装置，以满足实验的需要。

关键词　爆炸伤；疾病模型
中图法分类号　R826.5

参考文献

1 刘荫秋，李曙光，赖西南，等. 现代武器发展对战伤救治的新启示. 人民军医，1994，423：8
2 李兵仓，杨志焕. 爆炸性武器在现代战争中的应用及致伤机制. 解放军医学情报，1996，10(5)：251
3 赖西南，刘荫秋，贺声华. 面向 21 世纪的我军野战外科. 解放军医学情报，1996，10(4)：202
4 Nechaev E A, Gritsanov A I, Fomin N F, *et al*. The role as a weapon in the wars of the XX century. Mine-Blast Trauma Petersburg: S T, 1994. 2～4

(收稿：1998-02-25；修回：1998-09-17)
(编辑　仇玉福)

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