DOI:10.16016/j.1000-5404.1985.02.012

军事医学

不同投射物水中弹后空腔的特点

刘荫秋 李曙光 吴炳杰 王大田 蒋苏平 程雪云 马清河
郭瑞峰 陈作超

（野战外科研究室 六室）

提 要

本文用高速摄影（8000幅/秒）的方法，观察了7.62mm和5.56mm弹丸及直径6.35mm钢球在水中形成的瞬时空腔及其变化的特点，为研究高速小质量弹丸和破片的致伤机理提供依据。

实验结果表明，三种投射物在水中形成的弹后空腔各不相同，其差异取决于各投射物的弹道学特点。弹后空腔的形状、大小和形成的时间，对组织损伤的范围和程度有密切关系，因而具有重要的临床意义。

创伤弹道学的实验研究，通常是采用生物和非生物模拟方法。水是质地均匀、透明、连续的介质，其密度与骨骼肌相似，并较易观察，可作为了解人体组织中弹后空腔形成的参考[1]。关于弹后空腔，国外虽有报导，但对高速小质量投射物空腔形成的过程观察的较少，而国内尚未见有此项研究。

材料和方法

实验用容积为 0.73m³ 的水箱。其两侧面和前面为 1 cm厚的透明有机玻璃，箱底和其后面为 0.4cm的铝板，箱顶自由敞开。在弹丸入口处将水箱挖一直径 6 cm 的圆孔，并用软薄胶片密封，以防漏水。

用东德 Pentazet 35 型高速摄影机，拍摄时标准频率为 1000Hz。该机设在水箱的右侧，在与弹道的同一水平面上呈90°直角，选用 45mm 普通镜头，采用机械同步方式拍摄。室内靶道，温度24～26℃。

照明总光源为 20～25kw。以背景光为主光源（8～9 kw），顶射和正射均为辅助光源（图 1）。拍摄频率及各投射物的速度有关参数（如下表）。

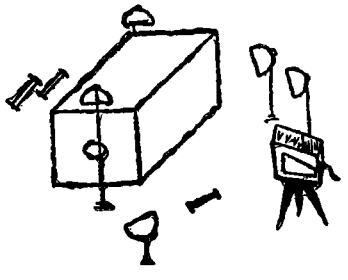


图1 摄影及灯光条件图

表 三种投射物的有关参数

投射物	结构	重量（克）	碰击速度（米/秒）	碰击动能（公斤·米）	拍摄频率（幅/秒）
国产7.62mm弹丸	钢心	7.9	720	209	2000，4000，8000
美制5.56mm弹丸	铅心	3.52	975	170.7	同上
直径6.35mm钢球	钢质	1.03	1365	97.2	同上

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

实验结果

一、弹后空腔脉动及其形状的变化 由于投射物的入水速度、质量、形状等诸因素的不同，弹后空腔的形成时间、形状及其脉动的情况也不同。

7.62mm 弹丸的弹后空腔，初始为几个小腔腔相连似串珠状。各小腔均横向（指与弹道相垂直的方向）膨胀，靠近入口处的小腔比远离入口处的小腔向外膨胀的速度快，因而使整个空腔像“海螺”状（图 2 —5 ～44幅）。最大空腔在距入口 约 22cm，其直径为 27cm 左 右。继之空腔纵向（沿弹丸飞行方向）缩短，而向横向膨胀，使其呈“鸭梨”状（图 2 —65、85幅）。从第二次扩张时起，空腔呈“云 团”状（图 2 —120 幅以后），这一空腔反复地扩张和收缩 7 ～ 8 次，持续约80～90毫秒。在空腔脉动过程中，其边缘愈来愈不规则并不断地沿弹丸运动方向移动，当出现散乱的气泡时，空腔即告崩溃（图 2 —125幅）。

5.56mm 弹丸的弹后空腔，当弹丸刚射入水中其空腔就急剧横向膨胀。一开始空腔有如带触角的“蜗牛”（图 3 — 6 、11幅），最大空腔距入口约 16cm，其直径为 31cm，呈球形（图 3 —21、26幅），当空腔开始缩小时呈“蘑菇”状（图 3 —31幅以后），在其后的脉动过程中，其形状变化不大，只是边缘不规则并不断 向 前 移 动，空腔脉动约 9 ～10次，持续约100～120毫秒，当空腔移动到水箱壁上时，破裂成若干气泡而告终。

直径 6.35mm钢球的弹后空腔，开始呈“宝塔状”（图 4 — 3 ～21幅）。最大空腔直径约 19cm，位 于入口附近。在以后的几次脉动中，空腔的边缘不整齐似“菠萝状”（图 4 —21幅以后），其脉动的幅度虽不如 7.62和5.56mm 弹丸所致的空腔大，但也有 6 ～ 7 次脉动，维持约60～70毫秒，最后也呈散乱的气泡而崩溃。

二、弹后空腔的纵向和横向变化 三种投射物弹后空腔的纵向和横向的变化各有差异：

7.62mm 弹 丸 弹 后空腔在弹丸入 水后 9.1毫秒时最大长度为 86cm，在11.3毫秒时最大直径为 27cm，是弹丸直径的 35.4 倍。5.56mm 弹丸弹后空腔在 8.5 毫秒时最长为 42cm，在 10毫秒空腔最大直径 31cm，是弹丸直径的55.8倍。直径 6.35mm钢球的空腔长度在6.7毫秒时为 74cm，在10毫秒时其最大直径为 19cm，是钢球直径的 30 倍。

三、弹后空腔的体积变化 投射物入水后，通过高速摄影可得到空腔的平面影像。以投射物入射方向为轴，将空腔的平面图形旋转180°，所得的旋转体可认为是弹后的瞬时空腔体积。本实验所获三种投射物的空腔体积变化，从图 5 显示的时间与体积变化曲线看，两种弹丸弹后空腔体积基本相同，都是在 体 积 $= 16.5 \times 10^3 cm^3$ 左右。所不同的是空腔的形状及其出现的时间。5.56mm 弹丸弹后最大空腔为球形，出现的时间 约 9.5 毫秒；7.62mm 弹丸弹后最大空腔似锥形，出现的时间为11毫秒；直径6.35mm 钢球的弹后最大空腔体积较上述两 种 弹 丸 小，体积 $= 4.9 \times 10^3 cm^3$。但 出现时间较早为 8 毫秒。

讨　论

一、投射物弹道特点对弹后空腔的影响 高速弹丸（破片）对靶标的作用效果与投射物的速度、质量、形状、结构、在靶标内的性态及能量释放等因素有密切关系。

5.56mm 弹丸速度快，当它以近三倍音速进入比空气密度大 800 倍的水介质时，很快失稳偏航，阻力面增加，阻力增大。加之弹丸系铅心结构，弹体强度差[2]，突然减速时，弹丸所受的附加动载荷剧增，致使弹丸

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

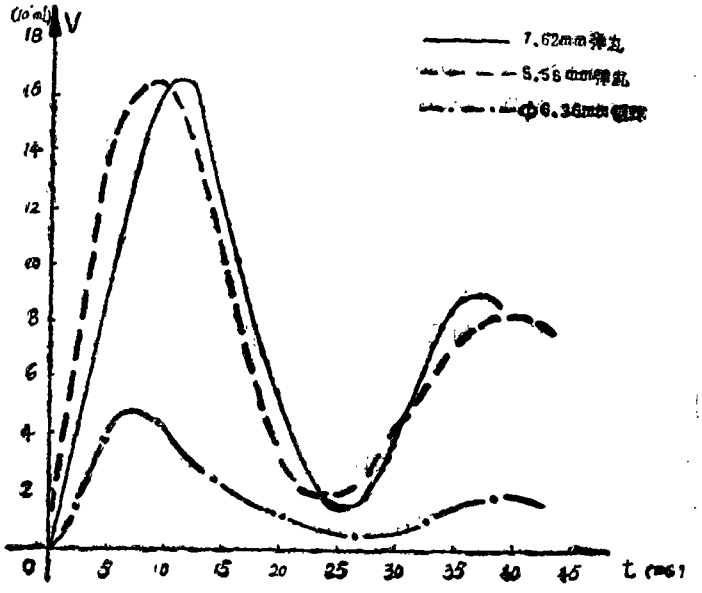


图5　不同投射物的空腔体积与时间变化曲线

入水后很快破碎，因而，其消耗的能量激增，弹丸在较短的距离上耗尽全部能量，使弹后空腔也迅速膨胀成球形[3][4]。7.62mm弹丸稳定性比5.56mm弹丸好，在目标内的侵彻能力强，弹体的强度也高，弹丸无破碎，只有少数变形。由于7.62mm弹丸侵入水中后，最初仍具有一定的急螺稳定* 的能力，因而，使弹后空腔顺着弹丸旋转的方向扭转，呈尖长的“海螺状”。随着侵彻深度的增加，弹丸失稳，阻力增大，其能量释放也随之增多，而空腔也由“海螺状”变成“圆锥状”（“鸭梨状”）。直径6.35mm钢球的阻力面不变，稳定性好。但其速度较高，阻力大。当射入稠密介质水中后，迅速释放大量的能量，故在入口处造成底大、顶尖的“宝塔”形空腔。

二、弹后空腔的形状与损伤的关系

由于生物组织中含有70～80%的水，其密度与水相似，故可将生物组织当做近似流体处理。

大量的生物实验表明，投射物对组织损伤，除其直接作用外，还因其弹后空腔效应，使其周围组织变位、撕裂、小血管破裂，大血管和神经牵拉或震荡，以及侧冲力所致的间接骨折。这些都与弹后空腔的形状、大小和形成的时间有关。例如，7.62mm弹丸和5.56mm弹丸的水中空腔体积虽基本相同，但7.62mm弹丸的空腔呈锥体形、直径小，空腔最大直径位于距入口22cm处；而5.56mm弹丸空腔的最大直径在距入口16cm处，空腔迅速向纵向扩张呈球形。这说明5.56mm弹丸膨胀的快，腔内压力变化剧烈，对生物组织损伤重，波及范围广。这与对狗软组织致伤的实验中，5.56mm弹丸的出口呈“喷火口”样的缺损性喇叭状伤道；7.62mm弹丸则是圆锥状伤道的结果相一致[3][4][5]。直径6.35mm钢球射入水中后，在入口处呈宝塔形的空腔，与用同样钢球在狗和猪的后肢实验中，入口处呈浅而宽的伤道相吻合[6][7]。由此可见，水中弹后空腔的特征对临床有重要意义。

（*急螺稳定：指弹丸围绕其纵轴高速旋转，以使弹丸保持尖部朝前的飞行。）

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

参 考 文 献

1. Beyer JC, et al: Wound Ballistics. Chapter Ⅲ, Washington DC, 1962

2. Owen-Smith MS: High Velocity Missile Wounds. Chapter I, First ed, London, 1981

3. 刘荫秋等：两种弹丸对狗软组织致伤特点。解放军医学杂志 1983；8(4)：269

4. 刘荫秋等：两种弹丸致伤狗软组织的瞬时空腔的变化。第三军医大学学报 1984；(4)：401

5. Беркутов АН и др: Современное учение об огнестрельной ране. Вест. АМН СССР 1979；(3)：11

6. Charters Ⅲ AR and Charters AC: Wounding Mechanism of Very High Velocity Projectiles. J Trauma 1976；16(6)：464

7. 程雪云等：不同质量和速度的钢球对狗软组织致伤特点。第三军医大学学报 1984；(3)：271

Properties of the Temporary Cavities in Water Produced with Different Projectiles

Liu Yinqiu et al

(Research Institute of Surgery, Third Military Medical College)

The processes of temporary cavitations produced with 7.62mm bullet, 5.56 mm bullet and 6.35mm spherical steel-pellet in water were recorded with a high speed (8,000 frames per second) camera to investigate the traumatic mechanism of fragments with high velocity and small mass. The temporary cavities produced with above mentioned projectiles were different because of their different ballistic behaviors. The shape and size of the temporary cavity and the time of its formation were closely related to the density of the adjacent tissues and also to the extent of the tissue damage. Thus the study on the temporary cavitations after projectiles of high velocity but small mass is of clinical significance.

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

生后1至90天大白鼠肝细胞溶酶体的年龄性改变 （正文见127页）

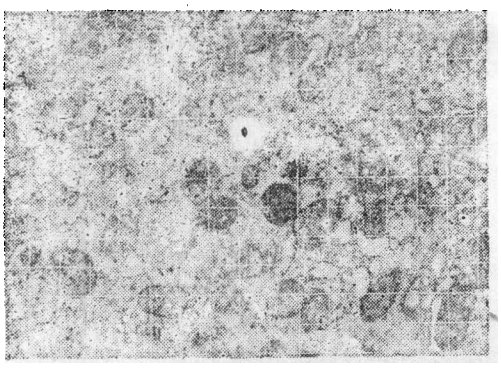


图 1 复以测试板的电镜照片，交叉点作测试点。×16800

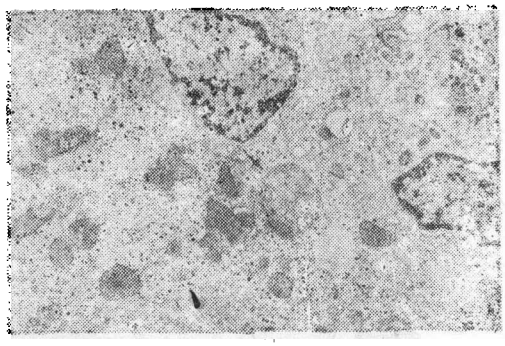


图 2 生后一天大鼠肝细胞，自噬泡（箭头）内可见线粒体和内质网等胞质成份。×7200

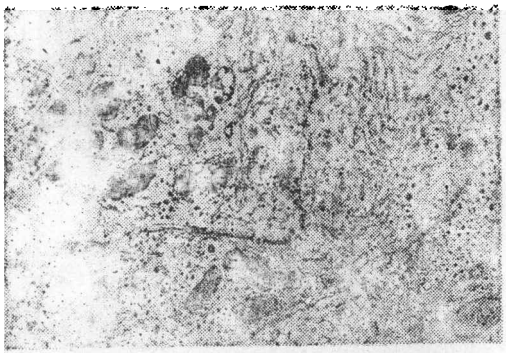


图 3 生后五天大鼠肝细胞，残体（箭头）位于胆小管内。×9800

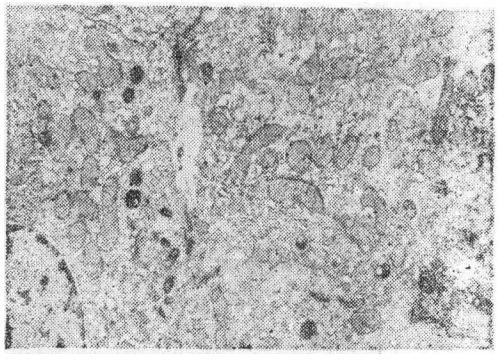


图 4 生后15天，肝细胞的初级溶酶体和多种形态的次级溶酶体。×6700

不同投射物水中弹后空腔的特点 （正文见163页）

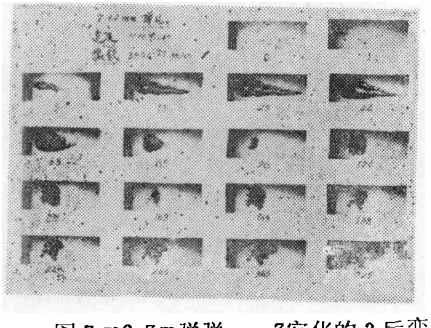
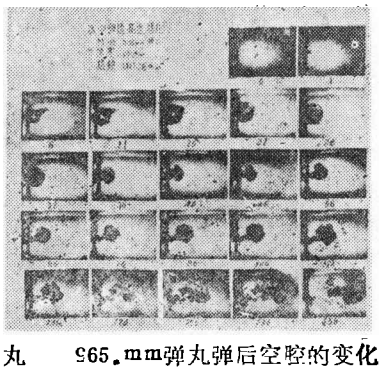


图 2 m6.7m弹弹 2空化的 3 后变腔图



丸 965.mm弹丸弹后空腔的变化

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