

• 综 述 •

腹部火器伤动物模型的研究进展*

高建新¹综述,孙荣距²审校

(1. 中国人民解放军总医院第一医学中心急诊医学科,北京 100853;2. 中国人民解放军总医院第八医学中心急诊科,北京 100091)

[摘 要] 对于开展战伤救治技术研究,损伤控制性手术的培训及创伤弹道学研究,理想的腹部火器伤动物模型至关重要。但迄今为止,国内外研究中尚无能够真实模拟腹部火器伤的标准化动物模型。该文从致伤武器、实验动物和建模目的等角度出发,对目前常见的腹部火器伤动物模型进行综述,并阐述各模型的优缺点,以期对腹部火器伤相关研究提供借鉴和参考。

[关键词] 火器伤; 动物模型; 休克; 综述

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2023.14.025 中图法分类号:R641

文章编号:1009-5519(2023)14-2462-03 文献标识码:A

Research progress of animal model of abdominal firearm injury*

GAO Jianxin¹, SUN Rongju²

(1. Department of Emergency Medical, First Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China; 2. Emergency Department of the Eighth Medical Center 301 Hospital, Beijing 100091, China)

[Abstract] The ideal animal model of abdominal firearm injury is essential for conducting research on the war injury rescue techniques, the training in injury control surgery, and the trauma ballistics research. But so far, there is no standardized animal model that can realistically simulate abdominal firearm injuries in domestic and foreign research. This article reviews the common animal models of abdominal firearm injury from the aspects of injury weapons, experimental animals and modeling purposes, and expounds the advantages and disadvantages of each model, in order to provide reference for the research on abdominal firearm injury.

[Key words] Firearm injury; Animal model; Shock; Review

腹部火器伤是战争中较为常见的损伤。各类枪械和炮弹产生的投射物携带巨大动能,可对腹部各类实质器官、胃肠道和血管结构造成严重破坏,使腹部火器伤救治难度大、伤死率高^[1-2]。理想的腹部火器伤动物模型对研究其损伤特点,提高战伤救治能力有着重要意义。相对于肢体火器伤动物模型,腹部火器伤模型较少见且不易实现模型标准化,不同研究所报道的建模方式也有较大差异。本文将对目前常见的腹部火器伤模型的构建和应用现状进行综述。

1 概 述

腹部火器伤指以火药为动力的各种武器引爆后所发射的弹丸或弹片击中腹部所造成的损伤,可累及皮肤及皮下软组织、腹腔内各种实质及空腔器官,以及腹膜后大血管、脊柱等。高速投射物穿过组织除了造成直接撕裂性损伤外,还可通过瞬时空腔效应产生压力波动造成邻近和远隔器官损伤,与一般腹部钝挫

伤和锐器伤的损伤特点有很大不同。根据损伤器官和部位的不同,腹部火器伤模型可分为肝脏火器伤模型、肾脏火器伤模型及肠管火器伤模型等。损伤肝、脾、肾等实质器官的火器伤模型可出现腹腔大出血并很快发生失血性休克,可用于损伤控制性手术及止血技术的研究。主要损伤胃肠道等空腔脏器的火器伤模型可出现严重的腹腔感染,可用于研究腹部火器伤所导致全身炎症反应和感染性休克。

2 常用致伤武器

军用的制式步枪和手枪发射的弹丸初速快、动能高、威力大,是建立腹部火器模型最常用的致伤武器,可真实模拟战场上火器击中腹部后的损伤效应,但副损伤重,不易精确瞄准,可重复性也较差。使用精度更高的弹道枪可以提高火器伤模型的稳定性,但对实验室条件要求较高。以压缩空气作为动力的气枪也可作为腹部火器伤模型的致伤武器,因弹速较低,使

* 基金项目:国防科技创新特区基金项目(19-163-15-ZD-009-001-07);军事医学创新工程专项基金项目(17CXZ009)。

用相对安全且造成的副损伤小,模型更容易重复,但弹丸穿透力差,适用于犬、兔等中小型动物^[3]。还有研究者将射钉枪改造成实验用模拟枪,比普通枪支更易固定、瞄准和遥控,使用过程更加安全,但威力不及普通枪支,适用于开腹后直接瞄准目标器官致伤^[4]。使用自制的十字按压器直接挤压肝脏或肾脏,可造成严重的实质脏器裂伤,创面形状类似于火器穿透伤,该模型最易制作且可重复性最好,适用于止血技术或手术方式的研究,但致伤过程缺乏必要的速度和能量,无法真实模拟的火器致伤特点^[5-6]。

3 常用实验动物

猪的体型、腹部解剖机构和生理生化特性与人类接近^[7],且成本远低于灵长类,是腹部火器伤模型最常用到的实验动物。犬具有易于驯养、体重轻和方便搬运等优点,也可用于腹部火器伤模型的建立^[3,8],但犬的腹部皮肤和脂肪结构较薄,难以模拟人体腹部火器伤的伤道特点。兔作为实验动物成本较低,但因体型太小导致目标器官瞄准困难,且被一般火器击中后会很快死亡。因此,兔腹部火器伤模型一般在开腹后使用威力较小的枪支直接瞄准目标器官致伤^[9]。

4 腹部火器伤致感染性休克模型

肠管火器伤模型可出现严重的腹部感染,一方面火器发射的弹丸本身可携带大量病原体,另一方面肠管破裂导致肠内容物污染腹腔,如不及时处理,实验动物可在短时间内发生感染性休克^[10]。致伤时实验动物的摆放体位可以为 45 度角仰卧位^[11]、侧卧位^[12]或悬吊直立行走位^[13]等,弹着点一般选择实验动物的左上腹或(反)麦氏点,从而避免伤及腹部大血管及肝、脾、肾等实质脏器。单纯的腹部肠管火器伤动物模型一般所致腹腔内出血较少^[14],主要特点为肠道穿孔、坏死和严重的腹腔感染,进而引起全身炎症反应和多器官功能损伤。腹部肠管火器伤致感染性休克模型是研究损伤控制外科(DCS)的重要模型工具,还被应用于研究未被弹道直接累及的肝、脑和肺等重要器官的损伤特点及机制^[15-17]。

5 腹部火器伤致失血性休克模型

火器伤致失血性休克模型可出现严重酸中毒、低体温和凝血障碍三联征,常用于损伤控制性复苏、损伤控制性手术及各类止血技术的研究。有研究在建立普通肠管火器伤之后,立即经颈动脉放血至休克,成功模拟失血性休克和严重创伤“致死三联征”,并用于损伤控制性手术的评估^[18-19]。该模型既有肠管火器伤所导致的腹腔严重感染,又有短时间内大量失血能充分模拟腹部火器伤所致失血性休克的全身反应,但出血过程是人为控制的,无法用于评估损伤控制性手术或救治措施本身的止血效果。另有一种火器伤

模型,使用威力较低的手枪射击实验猪的上腹部,威力较高的步枪射击一侧大腿,实验动物既因腹部多发肠管伤造成严重腹腔感染,又因下肢骨折和血管损伤导致大量失血^[20-21],相比于经血管放血,该火器伤模型能更真实地模拟战伤场景。

相对于肠管损伤,肝、脾、肾等实质脏器和腹腔大血管的损伤更容易引起腹腔大出血和失血性休克。由于枪弹或破片穿透腹壁后可能产生飞行方向的偏移,腹腔血管不易瞄准,实质器官的损伤程度也难以保证均一性,难以建立稳定、可重复的大出血模型。目前,实质器官火器伤模型的建立大多选择开腹后直接瞄准目标器官进行致伤^[9,22-23],其优点是损伤程度可控,但该类模型无法真实反映腹部火器伤的弹道特点。

6 其他腹部火器伤模型

6.1 “非均一性”腹部火器伤模型 国内研究者充分利用腹部火器伤情的不确定性,建立了更贴近实战场的动物致伤平台,通过不同的体表定位方式制造肝、肾、胃肠等器官损伤的“非均一性”模型,并将模型用于基层单位的腹部战伤救治培训中,取得了良好效果^[24]。

6.2 特殊环境下腹部火器伤模型 在干热、高原、濒海等特殊环境下,腹部火器伤的损伤机制和转归可能与普通环境下有所不同。如高原环境下缺血、缺氧更加明显,海水浸泡过的伤口,以及干热环境下火器伤口的细菌繁殖速度更快等。因此,建立特殊环境下的腹部火器伤模型对研究致伤机制和提高综合救治水平有很重要的意义。近年来,国内学者进行了大量相关研究,相关动物模型有沙漠干热环境猪腹部枪弹伤模型^[13]、高原兔肝脏火器伤模型^[9]及濒海战创伤动物模型^[11]等。

6.3 腹部钝性火器伤模型 防弹衣作为现代单兵作战的重要组成部分,已被广泛用于现代战争。身着防弹衣时,威力巨大的投射物可引起防弹衣的快速变形,从而造成非穿透性损伤,严重者可以致死。目前,人们对防弹衣后钝性损伤(BABT)的关注主要集中在肺、脑和脊柱等器官的损伤,并建立了相应的动物模型^[25-27]。腹部的肝、肾和肠道等器官也可能发生防弹衣后钝性损伤^[28],但目前相关研究较少,相关动物模型也存在研究空白。

7 小 结

腹部火器伤在战时发生率高且伤亡率高,但是在和平年代较为少见,各级医疗机构普遍缺乏相关救治经验。稳定的腹部火器伤模型可用于研究其损伤机制,评价战伤救治技术和开展救治能力培训,进而提高战伤救治水平。本文旨在对腹部火器伤模型研究

现状和存在的问题进行梳理。现有的腹部火器伤模型各有优缺点,如开腹后直接使用火器损伤目标器官的动物模型和火器致伤后放血至休克的动物模型较为稳定,但无法真实模拟战场火器伤的特点;使用简单体表定位的方式射击动物腹部,则腹部伤情具有较大不确定性,虽弹道特点真实但难以重复建模。损伤程度均一的标准化模型更能准确评价腹部火器伤救治措施的有效性,但从目前国内外相关报道来看,很难做到贴近战场实际的同时又损伤程度均一。借助超声或 CT 等技术进行辅助定位或可增加腹部火器伤模型的稳定性和可重复性。对于研究者来说,可根据自身研究目的选择合适的动物模型,同时应不断探索建立更加标准化的腹部火器伤模型以推进相关研究。

参考文献

- [1] CARDI M, IBRAHIM K, ALIZAI S W, et al. Injury patterns and causes of death in 953 patients with penetrating abdominal war wounds in a civilian independent non-governmental organization hospital in Lashkargah, Afghanistan [J]. *World J Emerg Surg*, 2019, 14(1): 51-55.
- [2] 逢川, 郗洪庆. 腹部枪弹伤特点及诊治现状[J]. *中国实用外科杂志*, 2021, 41(11): 1309-1312.
- [3] 王梅平, 徐先锋, 鲁阳春, 等. 新型枪弹伤动物模型应用于腹部战创伤研究[J]. *中华灾害救援医学*, 2018, 16(11): 610-613.
- [4] 赵旭东. 肾脏损伤的损伤控制性手术研究[D]. 上海: 第二军医大学, 2009.
- [5] SCHREIBER M A, HOLCOMB J B, HEDNER U, et al. The effect of recombinant factor VIIa on coagulopathic pigs with grade V liver injuries[J]. *J Trauma*, 2002, 53(2): 252-257.
- [6] PURSIFULL N F, MORRIS M S, HARRIS R A, et al. Damage control management of experimental grade 5 renal injuries: Further evaluation of floseal gelatin matrix [J]. *J Trauma* 2006, 60(2): 346-350.
- [7] EARDLEY W G, WATTS S A, CLASPER J C. Modelling for conflict: The legacy of ballistic research and current extremity in vivo modelling[J]. *J R Army Med Corps*, 2013, 159(2): 73-83.
- [8] 桑勇勇. 建立比格犬肝脏创伤合并海水浸泡的实验模型并观察射频消融的治疗效果[D]. 蚌埠: 蚌埠医学院, 2019.
- [9] 王德杰. 高原兔肝脏火器伤后机体应激性变化的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2011.
- [10] 李泽信, 王霄, 薛会朝, 等. 腹部火器伤肠管穿透后脓毒症的发生及意义[J]. *河南职工医学院学报*, 2010, 22(1): 4-7.
- [11] 王代勇, 徐先锋, 唐玉娟, 等. 濒海战创伤动物模型腹腔感染细菌学特点及药敏试验研究[J]. *中华灾害救援医学*, 2015, 3(10): 548-550.
- [12] SHAN C X, NI C, QIU M, et al. Is laparoscopy equal to laparotomy in detecting and treating small bowel injuries in a porcine model [J]. *World J Gastroenterol*, 2012, 18(46): 6850-6855.
- [13] 卫玮, 康燕, 刘江伟, 等. 姜黄素预处理对沙漠干热环境猪腹部枪弹伤模型生存时间的影响[J]. *现代生物医学进展*, 2018, 18(5): 843-846.
- [14] OLOFSSON P, ABU-ZIDAN F M, WANG J, et al. The effects of early rapid control of multiple bowel perforations after high-energy trauma to the abdomen: Implications for damage control surgery[J]. *J Trauma*, 2006, 61(1): 185-191.
- [15] 李泽信. 腹部火器伤肠管穿透后肝内 NF- κ B 活性变化及其在肝损伤中的作用研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2007.
- [16] 高伟, 张东, 刘江伟, 等. 猪腹部火器伤肠管穿透后继发性肺脏损伤的变化[J]. *现代生物医学进展*, 2010, 10(2): 237-239.
- [17] 李崎, 冯德元, 刘江伟, 等. 猪腹部火器伤肠管穿透后继发性脑损伤变化[J]. *现代生物医学进展*, 2009, 9(9): 1648-1649.
- [18] 王鹏飞, 毛琦, 李幼生, 等. 严重腹部贯通伤致多发肠管损伤合并“致死三联征”模型的建立[J]. *解放军医学杂志*, 2011, 36(3): 293-296.
- [19] WANG P, DING W, GONG G, et al. Temporary rapid bowel ligation as a damage control adjunct improves survival in a hypothermic traumatic shock swine model with multiple bowel perforations[J]. *J Surg Res*, 2013, 179(1): 157-165.
- [20] GAARDER C, NAESS P A, BUANES T, et al. Advanced surgical trauma care training with a live porcine model[J]. *Injury*, 2005, 36(6): 718-724.
- [21] LUNDELAND B, GUNDERSEN Y, OPSTAD P K, et al. Severe gunshot injuries in a porcine model: Impact on central markers of innate immunity[J]. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2011, 55(1): 28-34.

hanced magnetic resonance mammography appearance[J]. Breast J, 2005, 11(1): 23-28.

[31] KRISHNAMURTHY S, BEVERS T, KUERER H, et al. Multidisciplinary considerations in the management of high-risk breast lesions[J]. AJR Am J Roentgenol, 2012, 198(2): 132-140.

[32] GEORGIAN-SMITH D, LAWTON T J. Variations in physician recommendations for surgery after diagnosis of a high-risk lesion on breast core needle biopsy[J]. AJR Am J Roentgenol, 2012, 198(2): 256-263.

[33] ZANON A B B, MAESAKA J Y, CHEQUIN B B, et al. Underestimation rate in the percutaneous diagnosis of radial scar/complex sclerosing lesion of the breast: Systematic review[J]. Rev Bras Ginecol Obstet, 2022, 44(1): 67-73.

[34] QUINN E M, DUNNE E, FLANAGAN F, et al. Radial scars and complex sclerosing lesions on core needle biopsy of the breast: Upgrade rates and long-term outcomes[J]. Breast Cancer Res Treat, 2020, 183(3): 677-682.

[35] CHOU W Y Y, VEIS D J, AFT R. Radial scar on image-guided breast biopsy: Is surgical excision necessary[J]. Breast Cancer Res Treat, 2018, 170(2): 313-320.

[36] RAGETH C J, O'FLYNN E A, COMSTOCK C, et al. First international consensus conference on lesions of uncertain malignant potential in the breast (B3 lesions)[J]. Breast Cancer Res Treat, 2016, 159(2): 203-213.

[37] BACCI J, MACGROGAN G, ALRAN L, et al. Management of radial scars/complex sclerosing lesions of the breast diagnosed on vacuum-assisted large-core biopsy: Is surgery always necessary? [J]. Histopathol, 2019, 75(6): 900-915.

[38] RAKHA E, BECA F, D'ANDREA M, et al. Outcome of radial scar/complex sclerosing lesion associated with epithelial proliferations with atypia diagnosed on breast core biopsy: Results from a multicentric UK-based study [J]. J Clin Pathol, 2019, 72(12): 800-804.

[39] PINDER S E, SHAABAN A, DEB R, et al. NHS Breast Screening multidisciplinary working group guidelines for the diagnosis and management of breast lesions of uncertain malignant potential on core biopsy (B3 lesions) [J]. Clin Radiol, 2018, 73(8): 682-692.

[40] RAGETH C J, O'FLYNN E A, PINKER K, et al. Second international consensus conference on lesions of uncertain malignant potential in the breast (B3 lesions) [J]. Breast Cancer Res Treat, 2019, 174(2): 279-296.

[41] HA S M, CHA J H, SHIN H J, et al. Radial scars/complex sclerosing lesions of the breast: Radiologic and clinicopathologic correlation [J]. BMC Med Imaging, 2018, 18(1): 39-42.

(收稿日期: 2022-09-16 修回日期: 2023-02-20)

(上接第 2464 页)

[22] 江哲龙, 沈佳佳, 张小进, 等. 射频凝固治疗不同因素致伤合并海水浸泡肝脏的实验研究[J]. 福建医药杂志, 2019, 41(4): 115-118.

[23] FRAZIER H A, O'CONNELL K J, WAGNER G N, et al. Sutureless renal repair after low-velocity ballistic trauma [J]. J Urol, 1988, 139(5): 1115-1118.

[24] 钟鑫, 叶钊, 蒋仁庆, 等. 以动物模型为基础的腹部战伤损伤控制手术模拟训练[J]. 华南国防医学杂志, 2020, 34(8): 569-572.

[25] DROBIN D, GRYTH D, PERSSON J K, et al. Electroencephalogram, circulation, and lung function after high-velocity behind armor blunt trauma[J]. J trauma, 2007, 63(2): 405-413.

[26] ZHANG B, HUANG Y, SU Z, et al. Neurological, functional, and biomechanical characteristics after high-velocity behind armor blunt trauma of the spine[J]. J trauma, 2011, 71(6): 1680-1688.

[27] 苏正林, 许民辉, 赖西南, 等. 枪弹射击致防弹衣后长白猪远达脑组织损伤特点及其机制[J]. 第三军医大学学报, 2011, 26(19): 1995-1999.

[28] CARR D J, HORSFALL I, MALBON C. Is behind armour blunt trauma a real threat to users of body armour? A systematic review[J]. J R Army Med Corps, 2016, 162(1): 8-11.

(收稿日期: 2022-08-28 修回日期: 2023-02-16)