

冲击波强度与幼年大鼠肺冲击伤程度的量效关系

袁丹凤, 杨傲, 麻超, 梁毅, 代维, 周继红
陆军军医大学大坪医院野战外科研究所, 重庆 400042

【摘要】目的:探索冲击波强度与幼年大鼠肺冲击伤程度的量效关系,为儿童冲击伤研究提供动物模型和基础。**方法:**选取20天龄幼年健康SD雄鼠40只,随机分为4组:BIG1、BIG2、BIG3和BIG4,每组各10只,采用BST-I型生物激波管以4.8~5.8 MPa驱动压致伤,观察各组动物伤后生命体征、肺大体解剖和光镜病理等,并进行肺冲击伤严重程度评分。**结果:**幼鼠在驱动压致伤后均出现了不同程度的呼吸急促、心率加快的表现,外耳道出血发生率为57.5%(46/80)。肺大体解剖表现为不同程度的肺出血、水肿和肺不张等。光镜下病理主要表现为不同程度的肺出血、渗出、炎症细胞的浸润、肺间质水肿增厚、肺泡内水肿和肺泡壁的断裂等。4.8 MPa驱动压时,动物所受超压峰值为433 kPa,正向冲量14 226.4 kPa·m,肺器官损伤定级(OIS)集中在II、III级(40%、30%),肺冲击伤简明损伤定级(AIS)评分为0.90±0.57,损伤程度为轻度;5.0 MPa驱动压时,超压峰值为447.7 kPa,正向冲量14 463.5 kPa·m,OIS多集中在III级(60%),AIS评分为1.60±0.69,损伤程度为中度;5.5 MPa驱动压时,超压峰值为484.7 kPa,正向冲量15 017.0 kPa·m,OIS多集中在IV级(70%),AIS评分为3.10±0.56,损伤程度为较重;5.8 MPa驱动压时,超压峰值为506.8 kPa,正向冲量15 325.5 kPa·m,OIS集中在V级(40%)附近,AIS评分为4.00±0.67,肺损伤程度为重度。各组间损伤严重程度有明显统计学差异($P<0.05$)。**结论:**利用BST-I型生物激波管,采用4.8~5.8 MPa高压段的驱动压可建立稳定的幼年SD鼠轻~重度肺冲击伤模型。幼年大鼠肺组织对冲击波损伤的耐受性强于成年大鼠肺组织,也强于幼年兔肺组织,其机制尚不太清楚,值得进一步深入研究。

【关键词】肺冲击伤;幼年大鼠;冲击波;量效关系

【中图分类号】R318

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2021)06-0780-05

Dose-effect relationship between shock wave intensity and blast lung injury in juvenile rats

YUAN Danfeng, YANG Ao, MA Chao, LIANG Yi, DAI Wei, ZHOU Jihong

Institute of Field Surgery, Daping Hospital, Army Medical University, Chongqing 400042, China

Abstract: Objective To explore the dose-effect relationship between shock wave intensity and blast lung injury in juvenile rats, thereby providing animal model and research foundation for the study on blast injury in children. **Methods** A total of 40 healthy SD male rats of 20 days old were randomly divided into 4 groups, namely BIG1, BIG2, BIG3 and BIG4, with 10 in each group. The rats were injured by BST-I bioshock tube with actuating pressures at 4.8 MPa to 5.8 MPa. The vital signs after injury as well as the gross anatomy and light microscope pathology of the lungs in each group were analyzed, and then the severity of blast lung injury was scored. **Results** All the juvenile rats showed different degrees of shortness of breath and heart rate increasing after injury, and the incidence of external auditory canal hemorrhage was 57.5% (46/80). The gross anatomy of the lungs was characterized by various degrees of lung hemorrhage, edema, atelectasis and so on. The pathological changes observed by light microscopy mainly included different degrees of lung hemorrhage, effusion, inflammatory cells infiltration, thickening and edema of pulmonary mesenchyme, alveolar edema, alveolar wall rupture and so on. At an actuating pressure of 4.8 MPa, the peak value of overpressure on the animal was 433 kPa; the positive impulse was 14 226.4 kPa·m; organ injury scaling (OIS) was concentrated in grade II and III (40%, 30%); abbreviated injury scale (AIS) score was 0.90±0.57; and it was finally diagnosed as mild lung injury. When the actuating pressure was 5.0 MPa, peak overpressure and positive impulse were 447.7 kPa and 14 463.5 kPa·m, respectively; and the lung injury was concentrated in OIS grade III (60%), with an AIS score of 1.60±0.69; and it was finally diagnosed as moderate lung injury. When the actuating pressure was 5.5 MPa, peak overpressure and positive impulse were 484.7 kPa and 15 017.0 kPa·m, respectively;

【收稿日期】2021-02-15

【基金项目】国家自然科学基金(81471865)

【作者简介】袁丹凤,助理研究员,研究方向:野战外科和创伤外科,E-mail: 28352784@qq.com

【通信作者】杨傲,硕士研究生,助理研究员,研究方向:创伤外科及大数据分析,E-mail: 46608076@qq.com

and the lung injury was concentrated in OIS grade IV (70%), with an AIS score of 3.10 ± 0.56 ; and it was finally diagnosed as relatively severe lung injury. When actuating pressure was 5.8 MPa, peak overpressure and positive impulse were 506.8 kPa and $15\ 325.5\ \text{kPa} \cdot \text{m}$, respectively; the lung injury was concentrated near OIS grade V (40%), with an AIS score of 4.00 ± 0.67 ; and it was finally diagnosed as severe lung injury. Statistically significant difference was found in the severity of lung injury among different groups ($P < 0.05$). **Conclusion** A stable model of mild-to-severe blast lung injury in juvenile SD rats can be established using BST-I bioshock tube with actuating pressures at 4.8 MPa to 5.8 MPa. The lung tissues of juvenile rats are more tolerant to blast injury than lung tissues of adult rats and juvenile rabbits, while the mechanism is still unclear and deserves further research.

Keywords: blast lung injury; juvenile rat; shock wave; dose-effect relationship

前言

肺冲击伤是各种爆炸事件中最为常见的伤类之一,其体表损伤少而轻,甚至可能没有体表可见的损伤,但却有严重的肺挫裂伤和撕裂伤、肺出血水肿、血气胸等,严重威胁患者的生命^[1-4]。如何有效快速地救治肺冲击伤及维持肺的正常功能仍是当前医学领域的一项挑战。

儿童肺的发育和成熟度等较成人不完善,通常其肺损伤的特点和救治结局相比成人往往更严重、多变,诊治困难。特别是肺冲击伤,尽管临床上有大量儿童冲击伤的病例,但在过去的冲击伤研究中却极少涉及儿童,相关资料极为匮乏。因此,本研究拟在实验室通过观察不同强度冲击波对幼年大鼠肺的致伤作用,探讨冲击波强度与幼年大鼠肺冲击伤严重程度量效关系,分析幼年大鼠肺冲击伤的损伤特点与可能机制,建立幼年大鼠不同程度肺冲击伤的动物模型,为儿童肺冲击伤的病理生理及机制的研究提供基础,以助于认识和了解儿童肺冲击伤的特点与机制,寻找有效的防治方法。

1 材料与方法

1.1 实验动物和致伤设备

选用20天龄的幼年健康SD雄鼠,动物由中国人民解放军陆军军医大学大坪医院野战外科研究所动物实验中心提供。致伤设备采用陆军特色医学中心的BST-I生物激波管,夹膜均采用 $4\ \text{mm} \times 4\ \text{mm}$ 的铝制膜片。

1.2 实验分组与致伤

幼年SD大鼠40只,随机分为4组:冲击伤1组(BIG1)、冲击伤2组(BIG2)、冲击伤3组(BIG3)和冲击伤4组(BIG4),每组各10只动物。各组动物致伤采用的激波管高压段压力(驱动压)分别为4.8 MPa(BIG1)、5.0 MPa(BIG2)、5.5 MPa(BIG3)、5.8 MPa(BIG4)。

致伤冲击伤时,将幼年大鼠分别放置到特制的

铁丝鼠笼中,鼠笼放置固定于BST-I型生物激波管的实验段挡板前10 cm处,所有动物右侧朝向冲击波的波源。采集记录动物致伤处的冲击波超压峰值、正压持续时间,计算冲击波的正向冲量。致伤后,迅速取出鼠笼进行观察。

1.3 致伤后大鼠一般情况观察与肺病理解剖

观察幼鼠伤前和伤后的各项生理指标和生命体征(如:心率、呼吸、肛温、口鼻分泌物和排尿排便等),并记录各组伤后24 h死亡情况。存活动物于伤后24 h采用1.5%的戊巴比妥钠溶液麻醉后放血处死,并立即行大体解剖观察。记录肺大体解剖病理情况,重点记录肺出血、水肿、破裂以及胸腔情况等。取幼鼠左下肺叶组织,迅速浸泡于5%的多聚甲醛溶液中进行固定,做石蜡切片,行HE染色,进行光镜下病理观察。

1.4 肺损伤程度判定

采用2种创伤评分学方法对肺冲击伤的损伤严重程度进行半定量评估。(1)肺脏器官损伤定级(Organ Injury Scaling, OIS),将肺损伤程度分为I、II、III、IV、V和VI共6个级别^[5-7]。(2)基于简明损伤定级(Abbreviated Injury Scaling, AIS)的肺冲击伤严重程度评分,肺损伤的AIS分值范围为1~6分。1分:轻度;2分:中度;3分:较重;4分:重度;5分:危重;6分:极重(不可治)^[8-12]。

1.5 统计学方法

研究结果的计量资料以均数 \pm 标准差表示,采用单因素方差分析的方法进行组间比较;计数资料采用 χ^2 检验进行统计学分析。采用SPSS 18.0统计学软件进行统计学分析,当 $P < 0.05$ 时,认为具有统计学差异。

2 结果

2.1 幼鼠冲击伤后一般情况和肺大体解剖

在冲击伤后24 h内,各组幼年大鼠均存活。各组幼鼠伤后即刻均出现呼吸急促和心率加快的表现。幼鼠外耳道有出血发生,发生率为57.5%(46/80);未观

观察到血尿和血便的现象。致伤前肛温为(38.97±0.41)°C,伤后24h的肛温为(39.03±0.23)°C,比较无明显的统计学差异($P<0.05$)。

肺大体解剖结果显示各组幼鼠均未见血胸和气

胸发生,肺脏表现为不同程度的肺出血、水肿,严重者可有不同程度的肺不张等(图1);但未见明显的肺破裂和肺大泡的形成;在肺组织切面可见有不同程度的粉红色泡沫样液体流出。

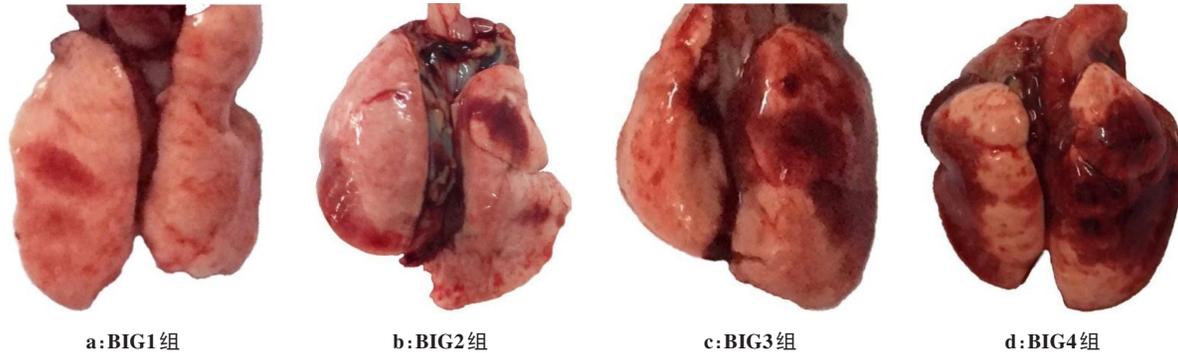


图1 幼年大鼠肺脏大体解剖

Fig.1 Gross anatomy of the lungs in juvenile rats

BIG1组幼鼠的肺大体解剖表现为点状或小片状出血,水肿不显著,伴有不同程度的肺充血,肺出血面积<5%肺表面积;BIG2组肺大体解剖可见较多的出血点、出血斑块,甚至片状出血,有明显的肺水肿,肺出血范围和程度均高于BIG1组;BIG3组肺组织可见成片的大面积肺出血,伴有显著的水肿,可见肺实变区域和局部不同程度肺不张;BIG4组幼鼠双肺可见大面积的肺出血,有的肺出血呈现出显著的肋间

压痕,肺组织有非显著的水肿,肺表现为饱满和肿胀,出血面积和程度均重于前3组。

2.2 肺损伤程度的评分

依据 OIS, BIG1 组幼鼠的肺损伤多集中在 II、III 级(40%、30%),BIG2 组肺损伤多集中在 III 级(60%),BIG3 组肺损伤多集中在 IV 级(70%),BIG4 组肺损伤多集中在 V 级(40%)(表 1)。

表1 各组幼鼠肺脏损伤程度的分级和评分

Tab.1 Grading and scoring of the severity of lung injury in each group of juvenile rats

组别	肺损伤分级[例(%)]						AIS 评分
	I	II	III	IV	V	VI	
BIG1	1(10)	4(40)	3(30)	2(20)	0(0)	0(0)	0.90±0.57
BIG2	0(0)	3(30)	6(60)	1(10)	0(0)	0(0)	1.60±0.69
BIG3	0(0)	1(10)	1(10)	7(70)	1(10)	0(0)	3.10±0.56
BIG4	0(0)	0(0)	2(20)	2(20)	4(40)	2(20)	4.00±0.67

依据 AIS, BIG1、BIG2、BIG3 以及 BIG4 组幼鼠的肺损伤 AIS 评分分别为 0.90±0.57、1.60±0.69、3.10±0.56、4.00±0.67(表 1)。对以上 4 组的 AIS 评分进行两两组间方差分析,除 BIG1 组和 BIG2 组的组间的 $P<0.05$ 外,其他各组 P 值均 <0.01 ,均具有明显的统计学差异。

2.3 肺脏的光镜病理

各组冲击伤后的幼鼠肺组织在光镜下都主要表现为不同程度的肺泡壁断裂、肺组织和肺泡的出血、液体渗出、组织和肺泡的水肿、肺不张、肺实变和炎症细胞的浸润等。出血表现为不同程度的肺组织间

质内出血、肺泡和支气管内的出血,间质内出血的红细胞分布于肺泡壁、气管和支气管周围间质组织中,肺泡内出血量多少不一,多者可充满肺泡,呈现为肺组织实变;液体的渗出和组织水肿多表现为不同程度的肺泡壁和气管支气管周围间质的增厚、肺泡内水肿液形成等;肺不张表现为不同程度的局部或大面积的肺泡壁塌陷、叠压、肺泡腔消失等;肺实变表现为肺组织和肺泡内充满大量红细胞,视野中充满红细胞,呈现成片的红色肺实变区;在肺泡壁间质和肺泡内有不同程度的炎细胞浸润,主要为大量的多形核白细胞、部分巨噬细胞和单核细胞。

4组动物的肺光镜病理损害程度比较显示,随着致伤的冲击波压力值的增加,肺损伤病理程度明显

加重,即肺损伤程度由重至轻的次序为:BIG4组>BIG3组>BIG2组>BIG1组(图2)。

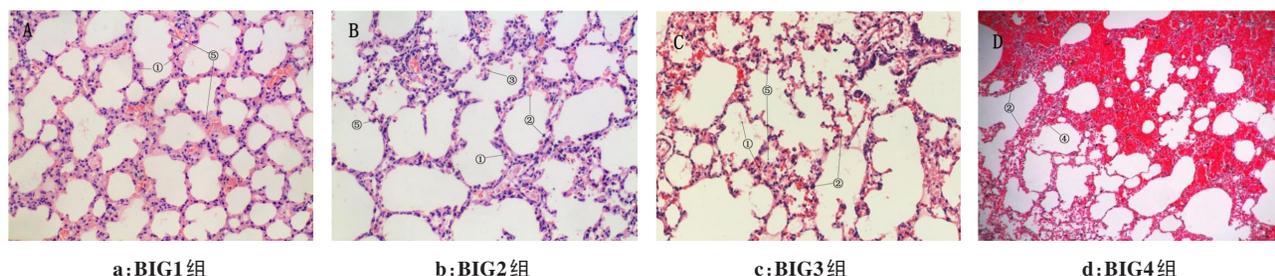


图2 各组大鼠肺脏冲击伤后的光镜病理照片(HE, 200×)

Fig.2 Pathological images of rats' lungs after blast injury under light microscope (HE, 200×)

①为肺组织水肿,肺泡壁间质增厚、肺泡内水肿液;②肺出血;③肺泡壁断裂;④肺不张;⑤炎细胞

2.4 冲击波物理参数与肺损伤程度

随着高压段驱动压力值的增加,动物致伤处的超压峰值和正向冲量也相应显著增加,而动物肺损伤严重程度也随之加重。BIG1组超压峰值为433 kPa,总体正向冲量14 226.4 kPa·m,肺损伤程度集中在轻度;BIG2组的超压峰值为447.7 kPa,总体正向冲量14 463.5 kPa·m,

肺损伤程度主要分布于中度;BIG3组的超压峰值为484.7 kPa,总体正向冲量15 017.0 kPa·m,肺损伤程度集中在较重度;BIG4组的超压峰值为506.8 kPa,总体正向冲量15 325.5 kPa·m,肺损伤程度集中为重度。详见表2。

表2 冲击波物理参数与肺损伤程度

Tab.2 Physical parameters of shock wave and severity of lung injury

组别	驱动压/MPa	超压峰值/kPa	正向冲量/kPa·m	首峰正压持续时间/ms	肺损伤程度
BIG1	4.8	433.0	14 226.4	53.1	轻
BIG2	5.0	447.7	14 463.5	53.9	中
BIG3	5.5	484.7	15 017.0	55.8	较重
BIG4	5.8	506.8	15 325.5	57.0	重

3 讨论

3.1 模型构建

为了开展儿童冲击波肺损伤机制与救治的研究,本研究首先利用生物激波管模拟爆炸冲击波,利用不同强度的冲击波进行致伤,通过对幼年大鼠肺冲击伤的程度与特点以及其与冲击波强度的量效关系研究来建立不同损伤程度的幼年大鼠肺冲击伤动物模型,为今后深入研究儿童肺冲击伤的病理生理及机制的深入研究提供基础,以助于认识和了解儿童肺冲击伤的特点与机制、寻找有效的防治方法。

在前期预实验结果的基础上,致伤条件参数分别采用4.8、5.0、5.5和5.8 MPa的激波管高压段驱动压。相应的幼鼠的肺损伤严重程度分别为轻度、中度、较重度和重度,其肺大体解剖的OIS评定和AIS评分基本一致。

3.2 肺冲击伤病理

幼鼠肺冲击伤的基本损伤病理表现类似于成年

鼠和其他动物冲击伤,主要表现为不同程度的肺出血、水肿和不张等,在光镜下可见不同程度的肺泡壁断裂、肺间质出血和肺泡内出血、肺泡壁和支气管周围组织水肿、肺泡内水肿液渗出、肺不张、肺实变和炎症细胞的浸润等^[13-18]。但幼鼠的肺泡内水肿出现较为早而重,在冲击伤最轻的BIG1组都观察到有明显的肺泡内水肿发生。随着遭受打击的冲击波压力值的增加,幼鼠的肺损伤病理程度也明显加重。

3.3 量效应关系

对比分析成年大鼠冲击伤的量效实验结果数据^[19-20],同样强度的冲击波致伤后,本研究中幼年大鼠的肺冲击伤损伤程度要轻,即需要更为强大的冲击波才能使幼年大鼠产生与成年大鼠相同程度的肺冲击伤。这也提示相对于成年大鼠肺组织,幼年大鼠肺组织对冲击波的损伤作用有更强的损伤耐受力。因此可以推测:虽然幼年大鼠的肺组织更为薄弱,但并非想象那样更易于被冲击波撕裂,这可能是

因为幼年生物的肺组织有更为丰富血管、更宽组织间隙,组织结构具有更好的弹性和应变能力,对爆炸冲击波的应力损伤效应机制有更强的承受力和耐受力,即其对冲击波的损伤耐受性更强^[7]。因此,有必要对其原因和机制开展进一步的深入研究与探讨。

3.4 不同动物种属差异

年龄对冲击波损伤的耐受性有影响,因此本研究也考虑了不同动物种属间对冲击波损伤的耐受性是否有差别。把本研究的幼年大鼠肺冲击伤实验数据与前期采用幼年兔所做冲击伤实验的结果进行比较,发现不同种属幼年动物之间对冲击波损伤作用的耐受性也是有差异的。当采用4.5 kPa的驱动压致伤时,可导致幼年兔出现严重肺冲击伤^[21];而对幼年大鼠,则需要5.8 kPa的驱动压才导致相同程度肺冲击伤发生。表明幼年大鼠的肺组织对冲击波损伤作用的耐受性要显著强于幼年兔的肺组织;这也提示并非动物越大,其组织器官对冲击波损伤作用的耐受能力就会越强。本研究的结果表明幼年大鼠的肺组织相比幼年兔具有更强的抗冲击波损伤的能力,这是与其肺组织的哪些生物力学特性、损伤防护机制有关,均尚不清楚^[22]。

综上所述,爆炸冲击波可导致幼年大鼠发生以肺组织破裂、出血、水肿、不张等为特征的肺冲击伤。利用BST-I型生物激波管,采用4.8~5.8 MPa高压段的驱动压可建立稳定的幼年SD鼠轻~重度肺冲击伤模型。幼年大鼠肺组织对冲击波损伤的耐受性强于成年大鼠肺组织,也强于幼年兔肺组织,其机制尚不太清楚,值得进一步深入研究。

【参考文献】

[1] 张兆瑞,陈良安. 原发性肺冲击伤临床研究[J]. 解放军医学院学报, 2013, 34(9): 997-999.
ZHANG Z R, CHEN L A. Primary blast lung injury: an overview[J]. Academic Journal of Chinese PLA Medical School, 2013, 34(9): 997-999.

[2] 李怀东,张兆瑞,陈良安. 原发性肺冲击伤实验动物病理生理学研究进展[J]. 实用医药杂志, 2013, 30(4): 366-368.
LI H D, ZHANG Z R, CHEN L A. Research progress in pathophysiology of experimental animals with primary lung blast injury[J]. Practical Journal of Medicine & Pharmacy, 2013, 30(4): 366-368.

[3] 王正国. 原发性肺冲击伤[J]. 中华肺部疾病杂志(电子版), 2010, 3(4): 231-233.
WANG Z G. Primary blast lung injury[J]. Chinese Journal of Lung Disease (Electronic Edition), 2010, 3(4): 231-233.

[4] 王正国,郑世钢,吴和平. 肺冲击伤的病理学[J]. 解放军医学杂志, 1983, 3: 180-183.
WANG Z G, ZHENG S G, WU H P. Pathology of lung blast injury[J]. Medical Journal of Chinese People's Liberation Army, 1983, 3: 180-183.

[5] KOZAR R A, MCNUTT M K. Management of adult blunt hepatic trauma[J]. Curr Opin Crit Care, 2010, 16(6): 596-601.

[6] HAMMOND J C, CANAL D F, BROADIE T A. Nonoperative management of adult blunt hepatic trauma in a municipal trauma center [J]. Am Surg, 1992, 58(9): 551-556.

[7] 周继红. 创伤评分学[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
ZHOU J H. Trauma scoreology[M]. Beijing: Science Press, 2018.

[8] ELAINE W. The Abbreviated Injury Scale: what it is and what it has contributed to understanding injury severity[C]//第七届全国创伤学术会议暨2009海峡两岸创伤医学论坛, 重庆, 2009.
ELAINE W. The Abbreviated Injury Scale: what it is and what it has contributed to understanding injury severity[C]//7th National Trauma Academic Conference and 2009 Cross Strait Trauma Medical Forum, Chongqing, China, 2009.

[9] 都定元. 创伤评分的演进与AIS 2005[J]. 创伤外科杂志, 2006, 8(3): 193-197.
DU D Y. Evaluation of trauma score and introduction of abbreviated injury scale 2005 [J]. Journal of Traumatic Surgery, 2006, 8(3): 193-197.

[10] 聂洪鑫, 孟辉. 创伤评分在胸部损伤中的应用[J]. 解放军医学杂志, 2019, 44(10): 887-895.
NIE H X, MONG H. Application of trauma score in chest injury[J]. Medical Journal of Chinese People's Liberation Army, 2019, 44(10): 887-895.

[11] 康建毅. 复杂冲击波的生物效应与数值模拟研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
KANG J Y. Biological effect and numerical simulation study of complex blast wave[D]. Chongqing: Chongqing University, 2010.

[12] 姚远, 周继红, 刘大维, 等. 爆炸伤伤情创伤评分[J]. 创伤外科杂志, 2006, 8(6): 533-535.
YAO Y, ZHOU J H, LIU D W, et al. Trauma scorings of explosive injury[J]. Journal of Traumatic Surgery, 2006, 8(6): 533-535.

[13] 刘海洋, 张晓菊, 白春学. 肺爆炸冲击伤研究进展[J]. 国际呼吸杂志, 2019, 39(13): 1035-1037.
LIU H Y, ZHANG X J, BAI C X. Advance in blast lung injury[J]. International Journal of Respiration, 2019, 39(13): 1035-1037.

[14] SCOTT T E, KIRKMAN E, HAQUE M, et al. Primary blast lung injury-a review[J]. Brit J Anaesth, 2017, 118(3): 311-316.

[15] 王雪莹. 原发性肺冲击伤的临床研究进展[J]. 中国急救医学, 2017, 37(3): 280-284.
WANG X Y. Primary blast lung injury: an overview [J]. Chinese Journal of Critical Care Medicine, 2017, 37(3): 280-284.

[16] GIBBONS M M, DANG X, ADKINS M, et al. Finite element modeling of blast lung injury in sheep[J]. J Biomech Eng, 2015, 137(4): 041002.

[17] KIRKMAN E, WATTS S, COOPER G. Blast injury research models [J]. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 2011, 366(1562): 144-159.

[18] SASSER S M, SATTIN R W, HUNT R C, et al. Blast lung injury[J]. Prehosp Emerg Care, 2006, 10(2): 165-172.

[19] 袁丹凤, 杨傲, 麻超, 等. 成年大鼠不同肺冲击伤伤情模型的建立[J]. 解放军医学杂志, 2019, 44(8): 643-647.
YUAN D F, YANG A, MA C, et al. Establishment of different lung impact injury models in adult rats[J]. Medical Journal of Chinese People's Liberation Army, 2019, 44(8): 643-647.

[20] 张均奎, 王正国, 杨志焕, 等. 冲击波负压所致大鼠肺损伤的病理学改变[J]. 第三军医大学学报, 1994: 10-12.
ZHANG J K, WANG Z G, YANG Z H, et al. Pathological changes of underpressure-induced lung injury in rates [J]. Acta Academiae Medicinae Miliaris Tertiae, 1994: 10-12.

[21] 梁毅. 幼兔肺冲击伤病理生理特点及其SP-B变化与作用[D]. 重庆: 第三军医大学, 2016.
LIANG Y. Pathological and physiological characteristics of severe blast lung injury in baby rabbits and preliminary study on its changes and effects of SP-B [D]. Chongqing: Third Military Medical University, 2016.

[22] 梁毅, 代维, 麻超, 等. 幼兔重度肺冲击伤动物模型的建立[J]. 局解手术学杂志, 2016, 25(5): 318-322.
LIANG Y, DAI W, MA C, et al. Study on severe blast lung injury model of baby rabbits[J]. Journal of Regional Anatomy and Operative Surgery, 2016, 25(5): 318-322.

(编辑:谭斯允)