

侧肾脏切除术。

此外,影响 EPN 预后的主要危险因素有:高龄、高体质量指数、血小板减少($PLT < 60 \times 10^9/L$)、急性肾功能损害($Cr > 124 \mu mol/L$)、意识障碍和休克^[9]。该患者内科治疗为基础,手术及时干预,随访中肾功能正常,预后良好。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 汪洁,刘成益.气肿性肾盂肾炎的影像学表现及文献复习[J].实用放射学杂志,2019,35(8):1359-1361.DOI:10.3969/j.issn.1002-1671.2019.08.039.
- [2] Sama S, Chandra N. Unusual presentation of emphysematous pyelonephritis[J]. Intensive Care Med, 2019, 45(4): 525. DOI:10.1007/s00134-018-5491-3.1-3.
- [3] Hinkamp CA, Keshvani N. Emphasising classification in emphysematous pyelonephritis[J].Lancet,2020,395(10230):1145. DOI:10.1016/S0140-6736(20)30475-X.
- [4] 华医学会急诊医学分会.中国脓毒症早期预防与阻断急诊专家共识[J].中华急诊医学杂志,2020,29(7):885-894. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2020.07.001.
- [5] 唐玲,屈双权,危思维,等.脓毒症患儿围术期应用醋酸钠林格注射液临床效果观察[J].中华急诊医学杂志,2019,28(6):776-779. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2019.06.024.
- [6] Chinese Association of Anesthesiologists. Expert consensus on the perioperative management of patients with sepsis[J]. World J Emerg Med, 2015,6(4):245-260. DOI:10.5847/wjem.j.1920-8642.2015.04.001.
- [7] 张胜景,孙海鹏,郝俊文,等.气肿性肾盂肾炎 2 例并文献复习[J].亚洲外科手术病例研究,2019,8(4):41-47. DOI:10.12677/acrs.2019.84006.
- [8] 赵云华,顾金萍,刘鸽,等.光滑念珠菌致气肿性肾盂肾炎一例报告并文献复习[J].中华肾脏病杂志,2018,34(12):936-937. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-7097.2018.12.010.
- [9] Sokhal AK, Kumar M, Purkait B, et al. Emphysematous pyelonephritis:changing trend of clinical spectrum, pathogenesis, management and outcome[J]. Turk J Urol,2017,43(2):202-209. DOI:10.5152/tud.2016.14227.

(收稿日期:2020-05-07)

(本文编辑:郑辛甜)

· 综述 ·

原发性肺爆震伤的相关研究进展

张健峰 黄思宇 孟祥艳 路倩颖 樊毫军 赵艳梅

天津大学灾难医学研究院 300072

通信作者:赵艳梅,Email:zhaoyanmei@126.com

基金项目:军队后勤开放研究项目(BLB19J006, BLB20J009)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2021.03.023

在军事、工业、日常生活等各个领域,爆炸事故屡见不鲜^[1]。爆炸事故中,伤员内脏损伤的程度远大于外伤,若没能得到及时的救治,很快发展为急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS),造成伤者死亡^[2]。肺脏作为空腔脏器,在爆炸事故中极易受损,造成肺爆震伤(blast lung injury, BLI)^[3]。仅由冲击波造成的肺损伤称为原发性肺爆震伤(primary blast lung injury, PBLI)。本文综述了国内外关于PBLI研究的动物模型、致伤机制及治疗策略的相关研究进展,以期BLI的研究提供借鉴与参考。

1 动物模型

根据冲击波产生原理,国内外常用的PBLI实验动物模型可分为:炸药致伤模型、生物激波管致伤模型、激光模

拟冲击波致伤模型。

1.1 炸药致伤模型

在特制平台或舱室中,以特定姿态固定实验动物,引爆一定距离外的炸药对动物造成损伤^[4-5]。用护具保护实验动物胸部以外其他部位,可减少并发伤^[6]。实验动物周围安装压力传感器,记录冲击波的压力及波形^[7]。该模型简单便捷、设备要求较低,但破坏性强、冲击波大小难以控制,精确度、重复性、安全性较差^[2]。

1.2 生物激波管致伤模型

激波管是一种气动力装置,主体是一根一定长度和直径的钢管,中间固定膜片,将主体分为压缩舱和减压舱两部分^[8]。通过对压缩舱充气加压,使其气压达到阈值,冲破膜片,所产生的冲击波瞬间从减压舱口释放,将实验动物胸部固定于气体出口,可造成较为精确的PBLI^[9-10]。通

过压力传感器收集冲击波物理参数^[11]。国内外研发多种激波管装置,可模拟不同环境下、多种峰值压力及波形的爆炸冲击波,其区别主要为:(1)膜片种类、厚度及层数;(2)注入压缩舱的气体;(3)冲击波释放口与实验动物间的距离、角度及释放口的面积;(4)压缩舱及释放舱的形状及大小;(5)装置整体形态(平卧式、直立式等);(6)装置所处的环境。该模型以压缩空气代替爆炸空气产生冲击波,没有热量及碎片的产生,伤情单一^[2],且重复性、安全性较好,数据易收集。但由于膜片破裂规律不稳定,会对实验结果造成一定影响。

1.3 激光模拟冲击波致伤模型

高能激光脉冲辐照固体材料会产生冲击波。在一黑色天然橡胶圆盘上方放置聚对苯二甲酸乙二醇酯(polyethylene terephthalate, PET)薄片,下方与实验动物脱毛并涂抹超声耦合剂的胸部接触。将激光脉冲聚焦后照射橡胶圆盘,产生冲击波^[12-15]。该模型设备复杂,无法模拟爆炸冲击波的复杂性和破坏性,但可控性、重复性、精确度较高,可用于精细冲击伤研究。

2 致伤机制

炸药在被引燃后通过氧化放热释放能量,瞬间从固体或液体转变为高压气体,形成由时相交替的超压和负压组成的冲击波,对人体造成损伤^[16-18]。

2.1 物理损伤

在冲击波的作用下,人体胸廓体积减小、胸内压升高,肺组织与肺泡被急剧压缩;随后胸廓回弹,在负压的作用下,肺组织与肺泡的体积瞬间扩张。目前大多采用“过牵效应”和“内爆效应”两个假说来解释 BLI 的物理致伤机制。过牵效应:肺组织由于过速、过度的扩张而造成损伤;肺泡在扩张时破裂,出现空气静脉栓塞和气胸等症状^[16];同时由于压力升高,肺毛细血管上皮细胞受损,间隙增大,微血管通透性增加,红细胞渗入肺泡腔,出现内出血症状^[3,5,19]。内爆效应:在冲击波超压和负压的作用下,肺泡内气体发生内爆效应,使肺泡破裂并对周围组织造成损伤^[3,20-21]。卢琪珺等^[4]研究发现,BLI 大鼠的肺血管上皮细胞水离子通道蛋白 1(aquaporin 1, AQP1)、AQP5 的表达下降,液体转运、吸收功能出现障碍,导致肺水肿。

2.2 炎症反应

受损的肺细胞会释放大量细胞因子,诱导产生如白介素-1 β (interleukin-1 β , IL-1 β)、IL-6、IL-8、肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α)、趋化因子配体 2(chemokine ligand 2, CCL2)等多种促炎因子^[11,22-23],参与 ARDS 的发生和发展^[5]。研究显示,BLI 会导致肺内

皮细胞受损、脱落,上调细胞间黏附因子-1、内皮素-1的表达,加速促炎因子的释放^[2]。在 PBLI 早期,补体也参与并调节了炎症反应的激活^[9-10]。

2.3 氧化应激和细胞凋亡

研究发现,PBLI 大鼠肺部超氧化物歧化酶-1活性下降、髓过氧化物酶活性上升^[24],活性氧含量上升,丙二醛-5(malonic dialdehyde 5, MDA5)和肌醇依赖酶 α (inositol-requiring enzyme α , IRE1 α)蛋白含量显著增加^[25],血红素氧合酶-1、抗氧化酶表达增加,蛋白氧化、硝化作用增强,发生氧化应激反应并对机体造成损伤^[11]。Qi 等^[26]研究发现,肺损伤可诱发细胞凋亡,参与急性肺损伤(acute lung injury, ALI)的发生和发展,同时诱导并加重了其他肺部慢性疾病^[27]。对 PBLI 大鼠肺组织细胞进行 TUNEL 法检测,可发现大量的细胞凋亡;使用 Western blot 和实时荧光定量 PCR 等技术检测发现,抗凋亡蛋白 Bcl-2 水平显著下降,促凋亡蛋白 Bax、caspase-3 和激活的 caspase-8 水平明显上升^[11,25]。

3 治疗策略

3.1 院前急救

医护人员到达事故现场后,迅速清除伤者口腔分泌物,保持呼吸道畅通。对伤者做全身检查,检测血氧分压、血压及心率等生理指标,并提前通知就近医院做好急救准备。

3.2 机械通气治疗

BLI 患者出现低血氧症、呼吸困等症状时,及时实施气管切开术并加用呼吸机^[28],应用小潮气量、高频振荡通气等保护性的通气策略辅助伤者进行呼吸^[29-30]。研究发现,对长期机械通气治疗的患者施加胸部物理治疗,有利于清除气管分泌物、改善氧合功能并提高肺顺应性,预防呼吸机相关性肺炎等并发症^[31-32]。

3.3 抗炎治疗

研究发现,使用乌司他丁、地塞米松等抗炎药物,可减少 BLI 动物肺组织中促炎因子含量^[33],减少肺泡灌洗液中炎细胞数量,改善低血氧症、过度炎症反应等症状^[34]。甲泼尼龙已被证实可以改善多种原因导致的肺损伤^[35-36],在治疗 BLI 的研究中显示出良好前景。早期肺部炎症反应会出现中性粒细胞在炎症灶聚集的现象,称为炎细胞浸润。中性粒细胞弹性蛋白酶(neutrophil elastase, NE)参与了 ALI 的发生发展,其活性与 BLI 严重程度成正比^[37-38]。研究发现,对 PBLI 实验动物注射 NE 抑制剂西维来司钠,可减轻炎症反应及肺水肿^[39]。腹膜透析是清除危重患者体内促炎因子的有效方法^[40]。研究证明,对 PBLI 大鼠施加腹膜透析治疗可以减少 IL-1 β 、IL-6、TNF- α 、CCL2 的表达^[22]。

促衰变因子 (decay-accelerating factor, DAF) 作为一种广泛表达的补体调节蛋白, 可保护宿主细胞免遭补体介导的溶解破坏^[41]。Li 等^[10] 研究发现, 对 PBLI 大鼠静脉注射重组人源 DAF (recombinant human DAF, rhDAF), 可通过抑制补体激活途径减轻 ALI 和炎症反应。

3.4 缓解内出血治疗

BLI 患者早期的严重肺部内出血是致死的主要原因。Shoffstall 等^[42] 合成了一种 GRGDS- 纳米颗粒, 能够与血管损伤处激活血小板膜上的糖蛋白 II b/ III a 受体靶向性的结合, 引发凝血级联反应, 减少内出血。Hubbard 等^[43-44] 将地塞米松包裹进该纳米颗粒, 静脉注射到 PBLI 实验动物中, 发现可提高生存率, 减轻肺脏炎症反应、内出血等损伤。

3.5 间充质干细胞 (mesenchymal stem cells, MSCs) 治疗

MSCs 属多能干细胞, 来源广泛、易于提取和分离, 具有自我更新和多向分化的能力^[45]; 在疾病治疗方面, MSCs 具有损伤修复、免疫调节等功能, 且有免疫耐受特性^[46], 已被证实可用于修复肺泡上皮细胞损伤, 减轻多种原因造成的 ALI^[47-51]。研究发现, MSCs 可对 PBLI 实验动物肺部产生保护作用^[52], 在对 BLI 的治疗中显示出良好的前景。

3.6 外源性肺泡表面活性物质 (pulmonary surfactant, PS) 治疗

PS 是由肺泡 II 型上皮细胞分泌的一种脂蛋白复合物, 分布于肺泡表面, 具有降低肺泡表面张力, 稳定肺泡内压, 维持肺顺应性和肺泡毛细血管渗透性等功能^[53-54]。李百玲等^[55] 研究发现, 向肺内导入外源性的 PS 能改善烧冲复合伤致 ALI 大鼠的氧合能力, 降低肺血管通透性, 减轻肺水肿。

3.7 体外膜肺氧合 (extracorporeal membrane oxygenation, ECMO) 治疗

当 BLI 病情发展为 ARDS 且传统治疗策略无效时, 应对伤者施加 ECMO 设备, 保证机体组织供氧, 提供额外的心肺功能支持, 使受损的心肺组织得到休息与恢复^[56]。ECMO 疗法旨在暂时维持患者生命体征, 为其他治疗方法的起效和患者本身的自愈争取时间^[57]。长期使用该疗法极易出现出血、感染、ECMO 管路故障等并发症, 严重影响患者预后。

3.8 其他治疗

BLI 患者常继发严重的肺内感染, 应及时施加抗生素。爆炸事故幸存者常有恐慌不安的情绪, 及时施加心理干预有利于病情的恢复。应根据患者的体质及伤情, 制定个性化的治疗策略^[20]。在所有治疗方法均无法有效的逆转 BLI 患者伤情时, 肺移植是目前治疗终末期肺疾病的唯一有效的手段^[58]。

4 结语

生物激波管致伤动物模型重复性好、伤情单一、实验成本低且便于收集数据, 是研究 PBLI 的常用模型。在爆炸发生后, 冲击波作用于人体并对肺部造成损伤, 诱发 ALI 并危及伤者生命。针对 BLI 患者肺部的物理损伤、炎症反应、水肿、内出血等症状, 国内外科研人员展开了一系列研究, 多种疗法被证实可显著提高存活率并改善预后。在未来, 研发更简易、精准、标准化, 重复性更好的 PBLI 动物模型, 对 BLI 的深入研究具有重要意义; 加深对于 BLI 致伤机制的探索, 挖掘在细胞及分子水平的救治措施, 以期为新型 BLI 临床治疗方法的研发奠定基础。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Aboudara M, Hicks B, Cuadrado D, et al. Impact of primary blast lung injury during combat operations in Afghanistan[J]. J R Army Med Corps, 2016, 162(1):75. DOI:10.1136/jramc-2015-000481.
- [2] Zhao Y, Zhou YG. The past and present of blast injury research in China[J]. Chin J Traumatol, 2015, 18(4):194-200. DOI:10.1016/j.cjtee.2015.11.001.
- [3] de Candole CA. Blast injury[J]. Can Med Assoc J, 1967, 96(4):207-214.
- [4] 卢琪珏, 李春光, 张冠鑫. 水通道蛋白 1 和水通道蛋白 5 在肺爆震伤肺水肿中的敏感性和特异性分析 [J]. 中华航海医学与高气压医学杂志, 2016, 23(4):278-282. DOI:10.3760/cma.j.issn.1009-6906.2016.04.008.
- [5] Wu SY, Han GF, Kang JY, et al. Pulmonary microvascular dysfunction and pathological changes induced by blast injury in a rabbit model[J]. Ulus Travma Acil Cerrahi Derg, 2016, 22(5):405-411. DOI:10.5505/tjtes.2015.06005.
- [6] 袁末, 代尊强, 史岩, 等. 乌司他丁对爆震引起兔急性肺损伤肺气及肺病理的影响 [J]. 中华急诊医学杂志, 2016, 25(3):301-304. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2016.03.008.
- [7] 刘伟, 柴家科. 乌司他丁对烧冲复合伤大鼠急性肺损伤及凝血参数时相性变化的影响 [J]. 中华烧伤杂志, 2018, 34(1):32-39. DOI:10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2018.01.007.
- [8] 佟昌慈, 柳云恩, 张玉彪, 等. 新型小鼠脑爆震伤模型的建立及研究 [J]. 中华急诊医学杂志, 2019, 28(1):44-49. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2019.01.009.
- [9] Yang Z, Aderemi OA, Zhao Q, et al. Early complement and fibrinolytic activation in a rat model of blast-induced multi-organ damage[J]. Mil Med, 2019, 184(suppl 1):282-290. DOI:10.1093/milmed/usy412.
- [10] Li YS, Yang ZS, Chavko M, et al. Complement inhibition ameliorates blast-induced acute lung injury in rats: Potential role of complement in intracellular HMGB1-mediated inflammation[J]. PLoS One, 2018, 13(8):e0202594. DOI:10.1371/journal.pone.0202594.

- [11] Tong C, Liu Y, Zhang Y, et al. Shock waves increase pulmonary vascular leakage, inflammation, oxidative stress, and apoptosis in a mouse model[J]. *Exp Biol Med* (Maywood), 2018, 243(11):934-944. DOI:10.1177/1535370218784539.
- [12] Kurioka T, Matsunobu T, Niwa K, et al. Characteristics of laser-induced shock wave injury to the inner ear of rats[J]. *J Biomed Opt*, 2014, 19(12):125001. DOI:10.1117/1.jbo.19.12.125001.
- [13] Sato S, Kawachi S, Okuda W, et al. Real-time optical diagnosis of the rat brain exposed to a laser-induced shock wave: observation of spreading depolarization, vasoconstriction and hypoxemia-oligemia[J]. *PLoS One*, 2014, 9(1):e82891. DOI:10.1371/journal.pone.0082891.
- [14] 李怀东. 原发冲击伤模拟实验概述[J]. *中国实验动物学学报*, 2012, 20(6):85-89. DOI:10.3969/j.issn.1005-4847.2012.06.019.
- [15] Satoh Y, Sato S, Saitoh D, et al. Pulmonary blast injury in mice: a novel model for studying blast injury in the laboratory using laser-induced stress waves[J]. *Lasers Surg Med*, 2010, 42(4):313-318. DOI:10.1002/lsm.20899.
- [16] Scott TE, Kirkman E, Haque M, et al. Primary blast lung injury—a review[J]. *Br J Anaesth*, 2017, 118(3):311-316. DOI:10.1093/bja/aew385.
- [17] Niwa K, Mizutari K, Matsui T, et al. Pathophysiology of the inner ear after blast injury caused by laser-induced shock wave[J]. *Sci Rep*, 2016, 6:31754. DOI:10.1038/srep31754.
- [18] Greer N, Sayer N, Kramer M, et al. Prevalence and epidemiology of combat blast injuries from the Military Cohort 2001-2014[M]. Washington (DC): Department of Veterans Affairs (US), 2016.
- [19] Scott T, Hulse E, Haque M, et al. Modelling primary blast lung injury: current capability and future direction[J]. *J R Army Med Corps*, 2017, 163(2):84-88. DOI:10.1136/jramc-2016-000678.
- [20] 彭凌华, 郭光华. 肺爆震伤研究进展[J]. *中华烧伤杂志*, 2016, 32(3):156-159. DOI:10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2016.03.007.
- [21] Shuker ST. Maxillofacial air-containing cavities, blast implosion injuries, and management[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2010, 68(1):93-100. DOI:10.1016/j.joms.2009.07.077.
- [22] Chen K, Yang J, Xiao F, et al. Early peritoneal dialysis ameliorates blast lung injury by alleviating pulmonary edema and inflammation[J]. *Shock*, 2020, 53(1):95-102. DOI:10.1097/shk.0000000000001325.
- [23] Barnett-Vanes A, Sharrock A, Eftaxiopolou T, et al. CD43Lo classical monocytes participate in the cellular immune response to isolated primary blast lung injury[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2016, 81(3):500-511. DOI:10.1097/ta.0000000000001116.
- [24] Ning J, Mo L, Yi B, et al. Therapeutic whole-body hypothermia protects remote lung, liver, and kidney injuries after blast limb trauma in rats[J]. *Anesthesiology*, 2016, 124(6):1360-1371. DOI:10.1097/ahn.0000000000001106.
- [25] Liu Y, Tong C, Xu Y, et al. CD28 deficiency ameliorates blast exposure-induced lung inflammation, oxidative stress, apoptosis, and T cell accumulation in the lungs via the PI3K/Akt/FoxO1 signaling pathway[J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2019, 2019:4848560. DOI:10.1155/2019/4848560.
- [26] Qi XL, Hao J, Huang LJ, et al. Apoptotic mechanisms in rabbits with blast-induced acute lung injury I[J]. *Acta Cirurgica Brasileira*, 2018, 33(10):896-903. DOI:10.1590/s0102-865020180100000004.
- [27] Liu ZW, Wang HY, Guan L, et al. Regulatory effects of hydrogen sulfide on alveolar epithelial cell endoplasmic Reticulum stress in rats with acute lung injury[J]. *World J Emerg Med*, 2015, 6(1):67-73. DOI:10.5847/wjem.j.1920-8642.2015.01.012.
- [28] 刘军, 赵富丽, 吴健, 等. 昆山“8·2”爆炸事故存活伤员损伤特点及救治分析[J]. *中华急诊医学杂志*, 2015, 24(9):952-957. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2015.09.006.
- [29] Matthay MA, Zemans RL, Zimmerman GA, et al. Acute respiratory distress syndrome[J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2019, 5(1):1-22. DOI:10.1038/s41572-019-0069-0.
- [30] Herrmann J, Tawhai MH, Kaczka DW. Computational modeling of primary blast lung injury: implications for ventilator management[J]. *Mil Med*, 2019, 184(suppl 1):273-281. DOI:10.1093/milmed/usy305.
- [31] van der Lee L, Hill AM, Patman S. Efficacy of a respiratory physiotherapy intervention for intubated and mechanically ventilated adults with community acquired pneumonia: a systematic review protocol[J]. *JBI Database System Rev Implement Rep*, 2017, 15(6):1508-1511. DOI:10.11124/jbisrir-2016-003145.
- [32] 曾慧, 张珍, 龚媛, 等. 胸肺物理治疗用于机械通气患者的疗效: 一项前瞻性随机对照研究[J]. *中华危重病急救医学*, 2017, 29(5):403-406, 412. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2017.05.004.
- [33] Xiao XG, Zu HG, Li QG, et al. Sivelestat sodium hydrate attenuates acute lung injury by decreasing systemic inflammation in a rat model of severe burns[J]. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2016, 20(3):528-536.
- [34] 苏时祯, 赖国祥, 张雷, 等. 肺爆震伤早期集束化药物治疗方案的实验研究[J]. *中国呼吸与危重监护杂志*, 2019, 18(1):57-64. DOI:10.7507/1671-6205.201806050.
- [35] 宋佳, 王春霞, 熊熙, 等. 甲基强的松龙抑制 STAT3-ERK1/2 通路改善脂多糖诱导急性肺损伤[J]. *中华急诊医学杂志*, 2019, 28(10):1266-1271. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2019.10.017.
- [36] Song LC, Chen XX, Meng JG, et al. Effects of different corticosteroid doses and durations on smoke inhalation-induced acute lung injury and pulmonary fibrosis in the rat[J]. *Int Immunopharmacol*, 2019, 71:392-403. DOI:10.1016/j.intimp.2019.03.051.
- [37] 王海龙, 卢兆桐, 袁未, 等. 西维来司钠对家兔早期肺爆震伤的治疗作用[J]. *中华实验外科杂志*, 2015, 32(5):1090-1092. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-9030.2015.05.049.
- [38] Robb CT, Regan KH, Dorward DA, et al. Key mechanisms

- governing resolution of lung inflammation[J]. *Semin Immunopathol*, 2016, 38(4):425-448. DOI:10.1007/s00281-016-0560-6.
- [39] Lee JM, Yeo CD, Lee HY, et al. Inhibition of neutrophil elastase contributes to attenuation of lipopolysaccharide-induced acute lung injury during neutropenia recovery in mice[J]. *J Anesth*, 2017, 31(3):397-404. DOI:10.1007/s00540-017-2311-9.
- [40] Zhang W, Sun J, Shen X, et al. Percutaneous catheter drainage combined with peritoneal dialysis for treating acute severe pancreatitis:a single-center prospective study[J]. *Minerva Chir*, 2019, 74(3):207-212. DOI:10.23736/s0026-4733.18.07813-6.
- [41] Li Y, Chavko M, Slack JL, et al. Protective effects of decay-accelerating factor on blast-induced neurotrauma in rats[J]. *Acta Neuropathol Commun*, 2013, 1:52. DOI:10.1186/2051-5960-1-52.
- [42] Shoffstall AJ, Atkins KT, Groynon RE, et al. Intravenous hemostatic nanoparticles increase survival following blunt trauma injury[J]. *Biomacromolecules*, 2012, 13(11):3850-3857. DOI:10.1021/bm3013023.
- [43] Hubbard WB, Lashof-Sullivan M, Greenberg S, et al. Hemostatic nanoparticles increase survival, mitigate neuropathology and alleviate anxiety in a rodent blast trauma model[J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1):10622. DOI:10.1038/s41598-018-28848-2.
- [44] Hubbard WB, Lashof-Sullivan MM, Lavik EB, et al. Steroid-loaded hemostatic nanoparticles combat lung injury after blast trauma[J]. *ACS Macro Lett*, 2015, 4(4):387-391. DOI:10.1021/acsmacrolett.5b00061.
- [45] Boldrini-Leite LM, Michelotto PV, de Moura SAB, et al. Lung tissue damage associated with allergic asthma in BALB/c mice could be controlled with a single injection of mesenchymal stem cells from human bone marrow up to 14 d after transplantation[J]. *Cell Transplant*, 2020, 29:963689720913254. DOI:10.1177/0963689720913254.
- [46] 徐道剑, 张琳, 黎俊, 等. Wnt/ β -Catenin 信号通路在骨髓间充质干细胞治疗内毒素致急性肺损伤中的作用[J]. *中华急诊医学杂志*, 2015, 24(9):994-999. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2015.09.016.
- [47] 尹俊, 宋振举. 急性呼吸窘迫综合征的免疫调控治疗[J]. *中华急诊医学杂志*, 2017, 26(3):260-262. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2017.03.003.
- [48] El-Metwaly S, El-Senduny FF, El-Demerdash RS, et al. Mesenchymal stem cells alleviate hydrochloric acid-induced lung injury through suppression of inflammation, oxidative stress and apoptosis in comparison to moxifloxacin and sildenafil[J]. *Heliyon*, 2019, 5(12):e02710. DOI:10.1016/j.heliyon.2019.e02710.
- [49] Lu ZH, Chang W, Meng SS, et al. Mesenchymal stem cells induce dendritic cell immune tolerance via paracrine hepatocyte growth factor to alleviate acute lung injury[J]. *Stem Cell Res Ther*, 2019, 10(1):372. DOI:10.1186/s13287-019-1488-2.
- [50] Zhang LC, Li QH, Liu W, et al. Mesenchymal stem cells alleviate acute lung injury and inflammatory responses induced by paraquat poisoning[J]. *Med Sci Monit*, 2019, 25:2623-2632. DOI:10.12659/MSM.915804.
- [51] Xu N, Shao Y, Ye K, et al. Mesenchymal stem cell-derived exosomes attenuate phosgene-induced acute lung injury in rats[J]. *Inhal Toxicol*, 2019, 31(2):52-60. DOI:10.1080/08958378.2019.1597220.
- [52] 莫修鑫, 卢兆桐. 间充质干细胞移植治疗肺爆震伤的研究现状[J]. *实用医药杂志*, 2014, 31(1):76-77. DOI:10.14172/j.cnki.issn1671-4008.2014.01.039.
- [53] 陶欢, 徐九年, 付丽莎, 等. 厄洛替尼在小鼠急性肺损伤中作用及对肺表面活性物质相关蛋白 A 表达的影响[J]. *中华急诊医学杂志*, 2018, 27(8):881-886. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2018.08.013.
- [54] Li SP, Han JY, Sun P, et al. Effect of SP-A/B in lipoic acid on acute paraquat poisoning[J]. *World J Emerg Med*, 2014, 5(1):57-62. DOI:10.5847/wjem.j.issn.1920-8642.2014.01.010.
- [55] 李百玲, 柴家科, 胡泉, 等. 外源性肺泡表面活性物质对重度烧冲复合伤大鼠急性肺损伤的治疗作用[J]. *中华医学杂志*, 2015, 95(2):133-137. DOI:10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2015.02.014.
- [56] 叶莉芬, 张晨美, 范勇, 等. 体外膜肺氧合救治儿童重度急性呼吸窘迫综合征的适应证和时机[J]. *中华急诊医学杂志*, 2019, 28(7):889-892. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2019.07.017.
- [57] Baxter RD, Vaquera K, George TJ. Extracorporeal membrane oxygenation support for vaping-induced acute lung injury[J]. *Ann Thorac Surg*, 2020, 110(3):e193-e194. DOI:10.1016/j.athoracsur.2020.01.028.
- [58] 孙梦, 温宗梅. 肺移植问题的研究进展[J]. *中华危重病急救医学*, 2019, 31(3):375-377. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.03.024.

(收稿日期: 2020-04-23)

(本文编辑: 郑辛甜)