

新型军用便携式抗菌负压引流系统对爆炸伤创面愈合的影响

苏东玮, 刘 锋, 毛发江, 方国恩

【摘要】 目的 研究新型军用便携式抗菌负压引流系统对爆炸伤创面愈合的影响。**方法** 选取 15 只健康小型白家猪, 在双侧臀部制作 30 个爆炸伤创面, 左右臀部随机分为对照组和实验组, 每组 15 个创面。伤后 2 d 均不予治疗, 以引发创面感染。伤后第 3 天起, 对照组行常规负压引流, 实验组使用新型军用便携式抗菌负压引流系统治疗。比较 2 组治疗前和治疗 1、3、5、7 d 创面细菌计数、创面深度、引流液炎症因子水平变化以及 2 组创面愈合时间。**结果** 30 个创面均建模成功, 平均创面面积为 $(7.36 \pm 1.25) \text{ cm}^2$ 。实验组治疗 1、3、5、7 d 时创面细菌计数均较治疗前下降且低于对照组同时期水平, 对照组治疗 3、5、7 d 时创面细菌计数较治疗前下降, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。实验组治疗后创面深度较治疗前下降, 对照组治疗 7 d 时创面深度较治疗前下降; 治疗 7 d 时, 实验组创面平均深度低于对照组, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。实验组治疗 3、5、7 d 时引流液 $\text{TNF-}\alpha$ 均较治疗 1 d 时升高, IL-1 、 IL-6 均较治疗 1 d 时下降, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。实验组创面愈合时间 $(24.69 \pm 1.82) \text{ d}$ 少于对照组 $(32.36 \pm 2.45) \text{ d}$, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。**结论** 便携式抗菌负压引流系统能够有效减少创面细菌数量、降低创面深度、调节创面炎症因子水平, 促进爆炸伤创面愈合。

【关键词】 便携; 抗菌; 负压引流; 爆炸伤; 创面愈合

【中图分类号】 R826.1

【文献标志码】 A

【文章编号】 1672-271X(2020)04-0337-05

【DOI】 10.3969/j.issn.1672-271X.2020.04.001

Study on the effect of a new military portable antibacterial negative pressure drainage system on the wound healing of explosive injury

SU Dong-wei¹, LIU Feng², MAO Fa-jiang³, FANG Guo-en¹

(1. Department of General Surgery, the First Affiliated Hospital of PLA Naval Medical University, Shanghai 200433, China; 2. Department of Education and Social Security Office of PLA Army Medical University, Chongqing 400038, China; 3. Department of Scientific Research Office, Affiliated Shanghai Hospital of Traditional Chinese Medicine, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200071, China)

【Abstract】 Objective To study the effect of a new type of military portable antibacterial negative pressure drainage system on the healing of explosive wounds. **Methods** Fifteen healthy small white domestic pigs were selected, and 30 explosive wounds were made on both hips using electric detonators. The left and right hips were randomly divided into a research group and a control group, each with 15 wounds. No treatment was given 2 days after wound injury in both groups to induce wound infection. From the third day after the injury, the control group received conventional negative pressure drainage, and the research group was treated with a new military portable antibacterial negative pressure drainage system. Compare the changes of bacterial counts, wound depth, and drainage

fluid inflammatory factor levels in the two groups before and 1 day, 3 days, 5 days, and 7 days of treatment, and compare the healing time of the two groups. **Results** All 30 wounds were successfully modeled. The average wound area of model animals were $(7.36 \pm 1.25) \text{ cm}^2$. In the study group, the bacterial counts on the wounds at 1 d, 3 d, 5 d, and 7 d were

基金项目: 海军军医大学军事科研项目 (2016JS23)

作者单位: 200433 上海, 解放军海军军医大学第一附属医院普外科 (苏东玮、方国恩); 400038 重庆, 解放军陆军军医大学教保处 (刘 锋); 200071 上海, 上海中医药大学附属上海市中医医院科研处 (毛发江)

通信作者: 方国恩, E-mail: fanguoen@aliyun.com

lower than those before the treatment and were lower than those in the control group. The bacterial counts in the control group were 3 d, 5 d, and 7 d after treatment. The difference was statistically significant ($P < 0.05$). The depth of the wound in the study group was lower than that before the treatment. The depth of the wound in the control group was higher than that before the treatment at 1 d, 3 d, and 5 d after treatment. The depth of the wound was lower at 7 d than that before the treatment. The average wound depth in the group was lower than that in the control group, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). The TNF- α in the drainage fluid of the study group at 3 d, 5 d, and 7 d was higher than that at 1 d, and the levels of IL-1 and IL-6 were lower than those at 1 d. The difference was statistically significant ($P < 0.05$); TNF- α and IL-1 in the drainage fluid showed no significant changes in the control group during 1 to 7 days of treatment. The wound healing time in the study group was (24.69 ± 1.82) days, which were lower than that of control group (32.36 ± 2.45) days, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). **Conclusion** The antibacterial portable negative pressure drainage system can effectively reduce the number of wound bacteria, reduce the depth of the wound, regulate the level of inflammatory factors in the drainage fluid, and promote the healing of explosive wounds.

[Key words] portable; antibacterial; negative pressure drainage; explosion wound; healing

0 引言

随着全球作战形势的变化,在现代战争中,爆炸武器的使用比例愈发升高,爆炸伤在战伤中的占比也呈现上升趋势^[1]。资料显示,波黑战争中,由地雷、炸弹、炮弹等爆炸性武器引发的爆炸伤,占全部伤员的 87%;伊拉克和阿富汗战争中,78% 的伤员合并爆炸伤^[2]。除现代战争外,恐怖袭击事件也是导致爆炸伤的重要原因之一,据报道,2003–2006 年恐怖袭击事件数量增加了 4 倍,而爆炸相关创伤上升了 8 倍^[3]。因此,促进爆炸伤创面愈合,不仅仅是现代战争中医疗救治机构正在面临的重大问题,也是应对当前世界安全局势改变的关键环节。海军军医大学第一附属医院(上海长海医院)于 2014 年起引入便携式负压引流系统,在降低乳腺癌改良根治术患者术后并发症发生风险、缩短住院时间方面发挥了积极作用,但多年临床实践也显现出该装置存在穿刺部位出血、感染等弊端。基于传统便携式负压引流装置的弊端,借助 3D 打印技术,我院设计了一种新型军用便携式抗菌负压引流系统(专利号:CN203494042U),现采取动物实验研究,就其对爆炸伤创面愈合的影响进行了分析,旨在为该系统的优化及研发提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验动物及建模 选取 15 只健康小型白家猪,体重 15~20 kg,雌雄不拘,均由海军军医大学动物实验中心提供(动物许可证号:SCXK(沪)2016-0017)。参照《实验动物管理条例》,动物

实验室气温、湿度分别控制在 22~25 ℃、40%~50% 范围内,适应性饲养 1 周后建立爆炸伤创面感染模型:使用 $\Phi 12$ 型电雷管(西安 213 研究所提供)距家猪双侧臀部皮肤约 1.0 cm 处引爆,造成 30 个爆炸创面。2 组创面伤后 2 d 均不予治疗,以引发创面感染。

1.2 方法 使用随机数字表法,将家猪创面随机分为对照组和实验组,同一只家猪左右侧臀部需分在不同组别。伤后第 3 天起对照组给予常规负压引流,实验组使用新型军用便携式抗菌负压引流系统引流。新型引流系统负压引流管上端留置体内,下端连接接头;负压接头上端连接引流管,下端为螺纹接头,通过螺纹接口与引流管相通;连接体上段为硬胶结构,内部中空螺纹结构,与下端螺纹接头相连,连接体下段为软胶结构,用于挤压处理引流物,然后分解为两个独立的引流管,连接负压瓶,可实现单独拔管、单独计量。引流管内有纳米涂层,能够预防感染发生。见图 1。



图 1 新型军用便携式引流系统 3D 模型图

1.3 评价指标 分别于治疗前和治疗 1 d、治疗 3 d、治疗 5 d、治疗 7 d 时进行创面细菌计数、创面深度及引流液炎性因子检测。创面细菌计数:严格无菌操作下切取创面周围肌肉组织,称取质量、眼科剪剪碎、玻璃匀浆器磨碎组织,进行细菌培养计数^[4],将待检标本加入 99 倍无菌等渗盐水,匀浆后将原液按 10 倍比稀释,每份稀释液取 1 μL 分别接种于血琼脂平板,37 $^{\circ}\text{C}$ 培养箱内孵育,20 h 后行细菌菌落计数,确定创缘组织的细菌数量。细菌计数:每克组织内细菌数 = 菌落数 \times 稀释倍数 $\times 10^3$ 。创面深度测量:使用 1 mL 空针吸取等渗盐水,注满创腔,根据文献[5]的相关公式计算创面平均深度。引流液炎性因子包括肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor α , TNF- α)、白细胞介素-1 (Interleukin-1, IL-1) 及 IL-6,使用 ELISA 法进行检测。此外,记录 2 组创面愈合时间,并进行组间比较。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析,计数资料以 $n(\%)$ 表示,并采用 χ^2 检验,计量资料以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示,并采用 t 检验,以 $P \leq 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 建模结果 15 只家猪的 30 个创面均建模成功,伤后第 2 天创面恶臭,可见白色混浊黏稠脓性分泌物,模型动物平均创面面积为 $(7.36 \pm 1.25) \text{ cm}^2$ 。

2.2 创面细菌计数变化 实验组治疗 1、3、5、7 d 时创面细菌计数均较治疗前下降且低于对照组同时期水平 ($P < 0.05$);对照组治疗 3、5、7 d 时创面细菌计数较治疗前下降,差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。见表 1。

表 1 入组创面细菌计数变化比较 ($\bar{x} \pm s, \times 10^3 \text{ CFU/g}$)

项目	对照组 ($n=15$)	实验组 ($n=15$)
治疗前	20 859.81 \pm 842.69	20 713.82 \pm 855.47
治疗 1 d	19 288.21 \pm 704.83	638.36 \pm 41.65 ^{*#}
治疗 3 d	11 252.89 \pm 657.48 [*]	120.28 \pm 19.74 ^{*#}
治疗 5 d	6 262.67 \pm 124.91 [*]	32.06 \pm 8.33 ^{*#}
治疗 7 d	2 328.59 \pm 57.65 [*]	1.05 \pm 0.21 ^{*#}

与治疗前比较, * $P < 0.05$; 与对照组比较, # $P < 0.05$

2.3 创面平均深度变化 实验组治疗后创面深度较治疗前下降,对照组治疗 1、3、5 d 时创面深度较治疗前升高,治疗 7 d 时创面深度较治疗前下降 ($P < 0.05$);治疗 7 d 时,实验组治疗后创面平均深度低于对照组,差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 入组创面平均深度变化比较 ($\bar{x} \pm s, \text{cm}$)

项目	对照组 ($n=15$)	实验组 ($n=15$)
治疗前	1.59 \pm 0.23	1.62 \pm 0.18
治疗 1 d	1.86 \pm 0.11	1.13 \pm 0.11 ^{*#}
治疗 3 d	2.45 \pm 0.20	1.10 \pm 0.13 ^{*#}
治疗 5 d	1.93 \pm 0.27	0.51 \pm 0.10 ^{*#}
治疗 7 d	0.74 \pm 0.02 [*]	0.05 \pm 0.01 ^{*#}

与治疗前比较, * $P < 0.05$; 与对照组比较, # $P < 0.05$

2.4 引流液炎性因子变化 实验组治疗 3、5、7 d 时引流液 TNF- α 均较治疗 1 d 时升高,IL-1、IL-6 均较治疗 1 d 时下降,差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。与对照组比较,实验组治疗 3、5、7 d 时引流液 TNF- α 、IL-1、IL-6 等差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。见表 3。

表 3 入组引流液 TNF- α 、IL-1、IL-6 变化比较 ($\bar{x} \pm s, \text{ng/L}$)

项目	对照组 ($n=15$)	实验组 ($n=15$)
TNF- α		
治疗 1 d	160.73 \pm 12.95	161.29 \pm 11.82
治疗 3 d	160.25 \pm 31.37	189.24 \pm 34.90 [*]
治疗 5 d	161.38 \pm 30.60	194.36 \pm 33.52 [*]
治疗 7 d	157.62 \pm 31.59	209.48 \pm 31.37 [*]
IL-1		
治疗 1 d	212.95 \pm 26.90	210.37 \pm 25.48
治疗 3 d	201.48 \pm 25.33	167.84 \pm 21.07 [*]
治疗 5 d	206.29 \pm 24.81	152.66 \pm 18.83 [*]
治疗 7 d	195.60 \pm 23.87	149.31 \pm 16.24 [*]
IL-6		
治疗 1 d	191.64 \pm 24.60	193.86 \pm 23.15
治疗 3 d	195.64 \pm 25.08	180.99 \pm 20.40 [*]
治疗 5 d	190.37 \pm 23.45	157.42 \pm 19.95 [*]
治疗 7 d	193.59 \pm 22.64	138.31 \pm 15.62 [*]

与对照组比较, * $P < 0.05$

2.5 创面愈合时间 实验组创面愈合时间 [(24.69 \pm 1.82) d] 少于对照组 [(32.36 \pm 2.45) d], 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。

3 讨 论

软组织爆炸创面的治疗是整形外科与战地医院医师所面临的重要问题,研究显示,爆炸伤员感染率高达 45.5%,伤口异物多、污染严重、初级救治不规范是导致伤员创面感染的主要因素^[6]。20 世纪 90 年代起,负压封闭引流技术在四肢软组织创面感染中得到了广泛的应用,其治疗效果确切、操作简便、减少换药次数等优势已得到广泛认可,在战创伤爆炸创面的初级救治环节得到了广泛的应用^[7-8]。

然而,传统负压封闭引流技术也存在一定弊端,主要体现在穿刺部位出血风险高、无法满足多处引流区域排液要求、无法单独拔管、难以单独计量等^[9]。为解决这一弊端,我院研制了新型军用便携式抗菌负压引流系统,解决的技术难点包括:①负压形成,但目前临床常用的负压引流瓶需借助外界负压,本系统运用膨胀球原理,设计了自身配置负压且负压可调节的负压引流系统,解决了负压形成的问题;②引流管侧孔制作,传统的引流侧孔多为引流管周围圈孔,引流管堵塞风险较高^[10-11]。本系统运用树脂材料、生产横向侧孔,并设计中央间隔圆盘式样的外科引流管,对于预防引流管堵塞亦有着积极意义。

为印证该系统对爆炸伤创面愈合的影响,此次研究选取 15 只家猪建立了动物模型,其依据为:家猪在解剖学、生理学、皮肤结构等方面较其他哺乳动物更为接近人类,创面愈合过程中的病理生理变化与人类相仿^[12]。本研究 2 组创面细菌计数比较结果显示,新型军用便携式抗菌负压引流系统迅速且有效地减少了创面细菌计数,其优势主要得益于更理想的密闭环境、更高效的引流系统、更有效的负压控制,同时,纳米涂层的应用,被认为有助于提高爆炸伤创面的髓氧化物活性,对于激活体内抗菌系统、促进创面愈合有着积极作用^[13-14]。本研究实验组治疗后创面深度持续下降,印证了上述结论。

创面引流液被认为是创面环境的“窗户”,其生化特性不仅能够评估创面状态,也是获取创面信息的无创方法^[15]。本研究就 2 组治疗后引流液炎性因子水平变化进行了比较,结果显示,对照组引流

液炎性因子水平未见明显变化,而实验组引流液 TNF- α 逐渐升高,IL-1、IL-6 持续下降,说明抗菌负压引流系统可有效调节创面炎性因子水平;TNF- α 持续高表达有助于抑制角质形成细胞、成纤维细胞等细胞生长因子的增殖和迁移;IL-1、IL-6 的下降意味着炎性细胞聚集受到明显抑制,急性期蛋白合成减少,机体炎症和组织损伤得到控制^[16-17]。得益于上述优势,实验组创面愈合时间较对照组大幅缩短,进一步印证了新型军用便携式抗菌负压引流系统在促进爆炸伤创面愈合中的积极价值。

除促进爆炸伤创面愈合外,该引流系统还具有以下优势:①采用角锥形穿刺器,穿刺成功率高、操作方便,降低穿刺部位创伤出血风险;②采用多腔负压引流装置,实现单个负压装置配套多个引流瓶的需求;③压力指示表能够实现负压瓶压力定量控制,便于操作及引流量记录;④引流管内增加纳米涂层,降低引流管堵塞发生率、感染发生率。上述优势不仅解决了现存引流系统的弊端,也为军队战创伤救治能力与卫勤保障能力的提高奠定了坚实的基础,与此同时,该负压引流系统安全、有效、便捷、精确的优势,亦满足民用临床需要,有着良好的社会效益及应用前景。

综上所述,新型军用便携式抗菌负压引流系统能够有效减少创面细菌数量、降低创面深度、调节创面炎性因子水平,促进爆炸伤创面愈合,值得进一步优化与推广。

【参考文献】

- [1] Brownson EG, Thompson CM, Goldsberry S, et al. Explosion injuries from e-cigarettes [J]. *N Engl J Med*, 2016, 375(14): 1400-1402.
- [2] 李 芳. 负压封闭引流技术在颌面烧伤整形术中的应用分析 [J]. *中国继续医学教育*, 2016, 8(24): 140-142.
- [3] Yan JC, Yang Zh, Dong H, et al. Changes of IL-8 and IL-8 mRNA after blast-fragment combined injury in dogs [J]. *Mil Med Res*, 2001, 16(2): 83-85.
- [4] 蒋琪霞, 徐 娟, 李晓华, 等. 负压封闭结合局部氧疗改善创伤性慢性伤口愈合的效果研究 [J]. *医学研究生学报*, 2016, 29(7): 731-736.
- [5] Rossheim ME, Livingston MD, Soule EK, et al. Electronic cigarette explosion and burn injuries, US Emergency Departments 2015-2017 [J]. *Tob Control*, 2019, 28(4): 472-474.

- [6] Jahangiri K, Ghodsi H, Khodadadizadeh A, *et al.* Pattern and nature of Neyshabur train explosion blast injuries[J]. *World J Emerg Surg*, 2018, 13(1): 3.
 - [7] 王志杰. 负压封闭引流技术在创伤骨科术后感染中的应用[J]. *中国社区医师*, 2016, 32(22): 75-75.
 - [8] Rozenfeld M, Givon A, Shenhar G, *et al.* A new paradigm of injuries from terrorist explosions as a function of explosion setting type[J]. *Ann Surg*, 2016, 263(6): 1228-1234.
 - [9] 陈西政, 白 龙, 陈科明, 等. 负压封闭引流术治疗四肢创伤复杂创面治疗的临床观察[J]. *中国医药科学*, 2019, 9(3): 196-199.
 - [10] 王建江, 张阳彬. VSD 负压封闭引流术在四肢创伤中的运用研究[J]. *中国保健营养*, 2016, 26(33): 85.
 - [11] Piehler T, Banton R, Zander N, *et al.* High-speed imaging and small-scale explosive characterization techniques to understand effects of primary blast-induced injury on nerve cell structure and function[J]. *Shock Waves*, 2018, 28(1): 37-50.
 - [12] 李光明, 杨 磊, 千东升, 等. VSD 在煤矿爆炸冲击伤所致四肢骨折中的应用[J]. *医学理论与实践*, 2016, 29(9): 1196-1197.
 - [13] Delannoy Y, Delabarde T, Plu I, *et al.* Terrorist explosive belt attacks; specific patterns of bone traumas[J]. *Int J Legal Med*, 2019, 133(2): 565-569.
 - [14] 徐 娟, 蒋琪霞, 王学红, 等. 给氧负压封闭伤口治疗在慢性伤口中的应用进展[J]. *中华现代护理杂志*, 2016, 22(8): 1178-1180.
 - [15] Schmidt G. Terrorist attacks with explosive weapons; pattern of injuries and health constraints[J]. *Int J Emer Manage*, 2018, 14(1): 40-50.
 - [16] 张海生, 项 炜, 吴 松, 等. 负压封闭引流治疗创伤性腹壁大面积缺损[J]. *中华急诊医学杂志*, 2017, 26(6): 713-714.
 - [17] Sharrock AE, Tai N, Perkins Z, *et al.* Management and outcome of 597 wartime penetrating lower extremity arterial injuries from an international military cohort[J]. *J Vas Surg*, 2019, 70(1): 224-232.
- (收稿日期:2020-02-05; 修回日期:2020-03-13)
(责任编辑:刘玉巧; 英文编辑:吕镗烽)