

# 便携式腹腔灌洗装置的研制及其对海水浸泡腹腔开放伤犬的救治研究

周 松, 张文华, 邵志鸿, 叶清林, 钟 伟, 林晓强, 陈月凤, 王小文

**【摘要】** 目的 研制一种适合野战条件使用的便携式腹腔灌洗装置, 了解运用其灌洗复温对海水浸泡腹腔开放伤犬生命体征、电解质及炎症反应的影响。方法 将 10 只比格犬随机分为常规即时组和装置即时组, 所有犬均经腹部开放伤并海水浸泡处理。常规即时组犬打捞出水后经腹部切口进行常规即时灌洗复温; 装置即时组犬打捞出水后用腹腔灌洗装置即时灌洗复温。各组于致伤前、浸泡后以及冲洗后 2 h、1 d、3 d 和 5 d 分别观察 2 组犬生命体征、血清中炎症因子表达水平、组织黏膜的病理变化及显微结构的改变、血浆中  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、乳酸、乳酸脱氢酶等生化指标。结果 常规即时组和装置即时组海水浸泡腹腔开放伤犬血液中肿瘤坏死因子- $\alpha$ (TNF- $\alpha$ )、白介素 1 $\beta$ (IL-1 $\beta$ )、干扰素- $\gamma$ (IFN- $\gamma$ )、血管内皮生长因子(VEGF)、转化生长因子-b(TGF-b)的含量、炎症细胞浸润程度, 组织、器官的损坏随着动物打捞出水时间的延长呈现先升高后降低的趋势, 同一时间点组间差异无统计学意义( $P>0.05$ )。腹部开放伤犬经海水浸泡 3 h 后, 血浆中  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、乳酸、乳酸脱氢酶浓度相对于致伤前明显增高( $P<0.05$ ),  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{HCO}_3^-$  浓度稍有降低, 血浆 pH 降低; 经常规即时灌洗复温和装置即时灌洗复温后,  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  浓度相对于浸泡后在 1 d、3 d、5 d 的检测中逐步降低( $P<0.05$ ), 同一时间点组间差异无统计学意义( $P>0.05$ )。结论 采用便携式腹腔灌洗装置即时灌洗复温能达到常规即时灌洗复温同等效果, 降低多器官功能衰竭综合征(MODS)的发生, 提高救治成功率。

**【关键词】** 海水浸泡; 腹部损伤; 腹腔灌洗装置; 灌洗复温; 炎症反应

**【中图分类号】** R656.1; R82 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1672-271X(2018)01-0011-07

**【DOI】** 10.3969/j.issn.1672-271X.2018.01.003

## Development of portable peritoneal lavage device and the treatment research of open abdominal injury dogs in seawater immersion

ZHOU Song, ZHANG Wen-hua, SHAO Zhi-hong, YE Qing-lin, ZHONG Wei, LIN Xiao-qiang, CHEN Yue-feng, WANG Xiao-wen

(Department of General Surgery, the 175th Hospital of PLA, Zhangzhou 363000, Fujian, China)

**【Abstract】 Objective** To develop a portable celiac lavage device suitable for field conditions, and to understand its effects on vital signs, electrolytes and inflammatory response of dogs after open abdominal injury and seawater immersion. **Methods** 10 dogs were divided into two groups randomly and all dogs were treated with open abdominal injury and seawater immersion. Dogs in routine group were salvaged from water then treated with routine real-time irrigation rewarming from the abdominal incision. The dogs in device group were salvaged from water then treated with real-time irrigation rewarming from the abdominal incision by using portable peritoneal lavage device. The levels of vital signs, inflammatory factors expression in serum, histopathological changes, microstructure changes and the concentration of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , lactic acid and lactic dehydrogenase in plasma were observed before immersion,

2 h after immersion, 1 day, 3 days and 5 days after lavage, respectively. **Results** The levels of TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , IFN- $\gamma$ , VEGF, TGF-bgin the blood, the infiltration of inflammatory cells, the damage of tissues and organs in both groups were increased after immersion, and decreased gradually at the later

基金项目:南京军区医药卫生科研基金(ZX21)

作者单位:363000 漳州,解放军第 175 医院普通外科(周 松,张文华,邵志鸿,叶清林,钟 伟,林晓强,陈月凤,王小文)

points of time after lavage. There was no significant difference between the two groups at the same time point ( $P>0.05$ ). The concentration of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , lactate and lactate dehydrogenase in the plasma was significantly higher than that before immersion ( $P<0.05$ ), and the concentration of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{HCO}_3^-$  and plasma pH decreased slightly ( $P<0.05$ ). The concentration of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Cl}^-$  decreased gradually at 1d, 3d and 5d after immersion. There was no significant difference between the two groups at the same time point ( $P>0.05$ ). **Conclusion** Immediate lavage and rewarming using the portable peritoneal lavage device can achieve the same effect of conventional real-time lavage and rewarming. It can reduce the occurrence of MODS and improve the success rate of treatment.

**[Key words]** seawater immersion; abdominal injury; portable peritoneal lavage device; lavage rewarming; inflammatory response

## 0 引 言

海水浸泡腹腔开放伤是渡海登陆作战、海战中一种较常见的、特殊的伤型。由于海水是一种高渗性液体,其导热系数大、温度低,且含有数万种致病微生物,海战伤海水浸泡后对机体的血浆渗透压、电解质平衡和体温过低有严重影响,较普通腹腔开放伤更容易发生多器官功能障碍,救治难度大,救治成功率低。海上环境对海上救治的疗效有明显影响,可能是致死率高的重要原因<sup>[1]</sup>。研究表明早期行腹腔灌洗复温可明显提高海水浸泡腹腔开放伤实验动物的生存率,并以腹腔温热低渗盐水持续灌洗为主的中心复温法疗效最佳<sup>[2-3]</sup>。如何能在伤后早期在海上进行有效的腹腔灌洗复温是救治的关键。因此,本研究设计并研制了一种适合海战条件的便携式腹腔灌洗装置,通过海水浸泡腹腔开放伤动物模型,探讨其灌洗复温的效果。

## 1 材料与方 法

**1.1 便携式腹腔灌洗装置的设计与研制** 便携式腹腔灌洗装置由腹腔罩、支架和固定带三部分组成,见图 1。腹腔罩是装置的主要部分,包括腹腔罩主体及进水管、出水管。腹腔罩主体采用硅胶材料,既有一定的硬度,又有一定的弹性;同时外形采用“穹顶样”设计,能最大限度地保护脱出的腹腔脏器。基底部分采用内翻“裙边样”设计,与伤口周围皮肤能紧密贴合,与支架和固定带配合使用能有效封闭伤口,防止灌洗液溢出,并且有利于灌洗液自出水管引出。为了适应复杂的战创伤条件以及不同面积的腹部开放伤,我们设计了两种不同规格的腹腔灌洗装置。

**1.2 实验动物与分组** 比格犬 10 只,体重(15~18)kg,随机分为 2 组。常规即时组 ( $n=5$ ):腹部开

放伤+海水浸泡+经腹部切口即时灌洗复温;装置即时组 ( $n=5$ ):腹部开放伤+海水浸泡+运用便携式腹腔灌洗装置即时灌洗复温。为消除生物节律对实验结果的影响,均于上午 8 时开始实验。造模前禁食 24 h,自由饮水,实验前 1 h 禁水。

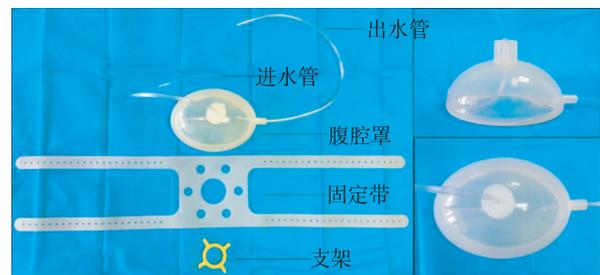


图 1 便携式腹腔灌洗装置结构示意图

**1.3 人工海水的配制** 人工海水配制采用国家海洋局第三研究所配方,其主要指标为:渗透浓度 ( $1250\pm 11.52$ ) mmol/L, pH 8.2, 钠离子浓度 ( $630\pm 5.33$ ) mmol/L, 钾离子浓度 ( $10.88\pm 0.68$ ) mmol/L, 氯离子浓度 ( $658.8\pm 5.25$ ) mmol/L, 温度 21 °C, 实验室温度 25 °C。NaCl 26.518 g/L,  $\text{MgCl}_2$  2.447 g/L,  $\text{MgSO}_4$  3.305 g/L,  $\text{CaCl}_2$  1.141 g/L, KCl 0.725 g/L,  $\text{NaHCO}_3$  0.202 g/L, NaBr 0.083 g/L。

**1.4 动物模型的建立** 实验动物术前禁食 24 h,采用氯胺酮肌肉注射(20 mg/kg)麻醉实验犬,然后将动物置于固定架上。术中以丙泊酚注射液每小时 3 mg/kg 维持麻醉。所有动物术前都经前肢股动、静脉插入导管,用手术刀切开皮肤、皮下组织、肌层和腹膜,切口长 8 cm(上达剑突,下达耻骨联合上缘)。致伤后浸泡入 26 °C 人工海水中 3 h。浸泡平面达剑突上 5 cm。常规即时组浸泡 3 h 打捞出水,经腹部切口立即用 40 °C 的 0.45% 低渗盐水灌洗。装置即时组浸泡 3 h,打捞出水立即用 40 °C 的 0.45% 低渗盐水经便携式腹腔灌洗装置灌洗,具体做法:将

进水管经伤口尽可能放置到腹腔深部,把腹腔罩与伤口周围皮肤扣紧,然后用支架和固定带固定确切,继而将40℃的0.45%低渗盐水经进水管通过重力作用快速灌入。常规即时组浸泡3h,打捞出水立即用40℃的0.45%低渗盐水经导管快速灌洗。2组的灌洗液体总量均为2L。

**1.5 生命体征监测** 所有动物都经股动脉、股静脉插入导管,接压力传感器至有创心电监护仪,测定各组致伤前、浸泡3h打捞出水和冲洗后2h的心率、平均动脉压(MAP)和中心静脉压(CVP)。分别于上述时间点经肛门插入体温计测定体温。

**1.6 血清炎症因子及相关指标的测定** 于致伤前、伤后浸泡3h以及冲洗后2h、1d、3d、5d观察以下指标:电解质、血气、肿瘤坏死因子-a(TNF-a)、干扰素- $\gamma$ (IFN- $\gamma$ )、IL-1b、IL-6、IL-8、血管内皮生长因子(VEGF)、转化生长因子-b(TGF-b)、内毒素(Endotoxin)、丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)、乳酸、乳酸脱氢酶。MDA代表脂质过氧化水平,而SOD是消除氧自由基的蛋白,MDA和SOD可以检测自由基的产生和清除这一动态平衡<sup>[4]</sup>。

**1.7 组织病理学检测** 比格犬5只,分别于开腹后、浸泡后2h、常规即时冲洗后2h、装置即时冲洗后2h以及常规延时冲洗后2h取肝、肺、胃、小肠、心脏组织,置于10%的中性甲醛固定,石蜡包埋,切片、HE染色,观察观察病理变化。

**1.8 透射电镜观察** ①取材:迅速从选取组织,切成1mm×1mm×2mm大小长条形;②前固定:3%戊二醛-1.5%多聚甲醛-0.1M PBS(pH 7.2)4℃固定2h以上;③漂洗:0.1M PBS(pH 7.2)3次;④后固定:1%锇酸-1.5%亚铁氰化钾4℃1.5h;⑤漂洗:0.1M PBS(pH 7.2)3次;⑥脱水:50%酒精10min;70%酒精饱和醋酸铀染液4℃过夜;90%酒精10min;90%酒精-丙酮10min;90%丙酮10min;无水丙酮10min×3次;⑦浸透:无水丙酮+环氧树脂618包埋剂(1:1)1.5h,纯618包埋剂35℃3h;⑧包埋、聚合:35℃12h,45℃12h,60℃3d;⑨切片、染色:超薄切片机切70~80nm的超薄切片;经醋酸铀、柠檬酸铅分别染色5min,然后蒸馏水水洗;⑩在透射电镜下观察并摄片。

**1.9 统计学分析** 采用统计软件SPSS19.0进行统计学处理,计量资料以均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,2组

定量资料之间的比较采用*t*检验,组内不同时间段的比较采用重复测量方差分析,以*P*<0.05为差异有统计学意义。

## 2 结 果

**2.1 便携式腹腔灌洗装置对海水浸泡腹腔开放伤犬生命体征的影响** 致伤前,2组动物的MAP、CVP、体温和心率没有明显差异(*P*>0.05)。海水浸泡3h后CVP、体温较致伤前显著下降(*P*<0.05),MAP和心率亦下降;冲洗后2h检测到2组动物的CVP继续下降,较浸泡3h后相比差异有统计学意义(*P*<0.05),同时体温回升(*P*<0.05);MAP和心率亦有回升,但差异无统计学意义(*P*>0.05)。在整个过程中,常规即时组和装置即时组之间差异均无统计学意义(*P*>0.05)。见表1。

表1 海水浸泡腹腔开放伤犬生命体征监测( $\bar{x}\pm s, n=5$ )

时间	CVP(mmHg)	体温(℃)	MAP(mmHg)	心率(次/min)
致伤前				
常规即时组	8.36±0.42*	38.70±0.50*	95.00±25.36	183.80±28.91
装置即时组	8.26±0.43*	38.46±0.40*	113.60±33.52	180.40±50.74
浸泡3h后				
常规即时组	4.52±0.42	36.18±0.40	70.60±33.91	163.40±55.16
装置即时组	4.48±0.23	36.22±0.43	75.00±28.82	167.20±45.49
冲洗后2h				
常规即时组	3.64±0.32*	37.32±0.37*	76.40±17.23	179.60±40.54
装置即时组	3.62±0.35*	37.08±0.55*	78.00±28.71	175.20±46.86

1 mmHg=0.133 kPa;组内不同时间点与浸泡后3h比较,\**P*<0.05

**2.2 便携式腹腔灌洗装置对海水浸泡腹腔开放伤犬炎症细胞因子的影响** 2组经海水浸泡后炎症因子表达迅速上升,冲洗后炎症因子依然呈表达上升的趋势。内毒素、IL-1b、IL-6、VEGF、TGF-b冲洗后1d达到峰值。装置即时组和常规即时组的各指标差异无统计学意义(*P*>0.05)。装置即时组的MDA在海水浸泡和灌洗阶段与常规即时组差异无统计学意义(*P*>0.05)。SOD的结果显示2组相同时间点间差异无统计学意义(*P*>0.05)。见表2。

**2.3 便携式腹腔灌洗装置对海水浸泡腹腔开放伤犬电解质、乳酸和乳酸脱氢酶的影响** 腹部开放伤犬经海水浸泡3h后,血浆中Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>浓度较致伤前明显增高(*P*<0.05),Ca<sup>2+</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度稍有降低,血浆pH降低。经常规灌洗和装置灌洗

后,  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  浓度相对于浸泡后在 1 d、3 d、5 d 的检测中逐步降低 ( $P < 0.05$ ), 冲洗后第 5 天恢复至正常范围;  $\text{HCO}_3^-$  浓度和 pH 在冲洗后回调上升, 较浸泡后差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。开腹并海水浸泡 3 h 后犬血液中乳酸和乳酸脱氢酶浓度明显上升 ( $P < 0.05$ )。经常规灌洗或装置灌洗后, 乳酸浓度逐渐降低, 而乳酸脱氢酶浓度持续上升, 至冲洗后 5 d 开始下降。常规即时组和装置即时组的差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。见表 3。

#### 2.4 便携式腹腔灌洗装置对海水浸泡腹腔开放伤犬器官组织炎症的影响

海水浸泡前腹腔开放伤

犬小肠黏膜形态完整, 绒毛结构清晰, 绒毛排列整齐, 肝无明显肝细胞水肿、坏死及炎性细胞浸润。开腹并海水浸泡后小肠黏膜结构紊乱, 绒毛破损, 上皮细胞部分脱落, 部分固有层暴露, 胃组织炎症细胞聚集较多, 微绒毛脱落、断裂; 装置即时组和常规即时组相比, 胃肠道黏膜损伤较轻, 两者均有一定程度的上皮间隙扩张, 部分绒毛顶端破损、脱落, 毛细血管充血, 紧密连接结构大致可见, 少量炎症细胞浸润, 线粒体肿胀减轻。各组心脏组织未见明显差异, 在肺组织中, 海水浸泡组以及冲洗组均伴有炎症细胞浸润。见图 2。

表 2 海水浸泡腹腔开放伤犬炎症相关指标的检测 ( $\bar{x} \pm s, n = 5$ )

时间	致伤前	浸泡 3 h	冲洗后 2 h	冲洗后 1 d	冲洗后 3 d	冲洗后 5 d
内毒素 (E $\mu$ /L)						
常规即时组	0.34 $\pm$ 0.23	0.53 $\pm$ 0.21	0.89 $\pm$ 0.10*	0.96 $\pm$ 0.24*	0.95 $\pm$ 0.15*	0.79 $\pm$ 0.11*
装置即时组	0.18 $\pm$ 0.09 <sup>#</sup>	0.50 $\pm$ 0.15	0.69 $\pm$ 0.22	0.94 $\pm$ 0.30 <sup>#</sup>	0.68 $\pm$ 0.21	0.56 $\pm$ 0.18
TNF- $\alpha$ (mg/L)						
常规即时组	19.07 $\pm$ 6.12	27.02 $\pm$ 5.81	27.86 $\pm$ 3.28	28.74 $\pm$ 3.98	23.61 $\pm$ 2.86	20.76 $\pm$ 2.17
装置即时组	21.44 $\pm$ 7.35	26.12 $\pm$ 4.09	27.85 $\pm$ 4.75	22.13 $\pm$ 8.26	24.09 $\pm$ 2.56	23.20 $\pm$ 4.89
IL-1 $\beta$ (mg/L)						
常规即时组	383.26 $\pm$ 132.61 <sup>#</sup>	647.16 $\pm$ 121.47	694.42 $\pm$ 75.20	766.80 $\pm$ 82.71	638.65 $\pm$ 46.12	614.79 $\pm$ 91.31
装置即时组	411.55 $\pm$ 112.41 <sup>#</sup>	685.80 $\pm$ 89.77	636.61 $\pm$ 137.16	659.85 $\pm$ 119.99	622.06 $\pm$ 90.91	608.58 $\pm$ 81.77
IL-6 (mg/L)						
常规即时组	548.30 $\pm$ 179.38	573.08 $\pm$ 122.22	631.61 $\pm$ 52.07	614.24 $\pm$ 21.04	612.98 $\pm$ 72.94	574.91 $\pm$ 57.51
装置即时组	558.59 $\pm$ 26.46	581.76 $\pm$ 87.98	625.75 $\pm$ 84.74	701.68 $\pm$ 77.13	631.66 $\pm$ 151.79	643.49 $\pm$ 136.27
IL-8 (mg/L)						
常规即时组	148.28 $\pm$ 36.05	149.08 $\pm$ 46.31	163.48 $\pm$ 34.78	169.41 $\pm$ 36.64	184.80 $\pm$ 17.09	172.03 $\pm$ 32.50
装置即时组	100.76 $\pm$ 22.77	120.51 $\pm$ 40.56	144.74 $\pm$ 37.17	163.42 $\pm$ 34.57	143.08 $\pm$ 57.94	163.37 $\pm$ 44.84
IFN- $\gamma$ (mg/L)						
常规即时组	62.21 $\pm$ 14.70	75.66 $\pm$ 18.79	76.14 $\pm$ 13.70	77.37 $\pm$ 11.92	71.07 $\pm$ 4.64	60.82 $\pm$ 5.80
装置即时组	60.30 $\pm$ 12.66	65.26 $\pm$ 11.87	65.24 $\pm$ 15.22	58.36 $\pm$ 11.49	63.99 $\pm$ 7.74	59.35 $\pm$ 5.42
VEGF (mg/L)						
常规即时组	258.37 $\pm$ 48.49	297.88 $\pm$ 60.82	295.12 $\pm$ 48.27	337.94 $\pm$ 92.38	292.67 $\pm$ 67.65	310.51 $\pm$ 71.01
装置即时组	249.56 $\pm$ 21.66	246.99 $\pm$ 22.95	268.30 $\pm$ 14.27	290.21 $\pm$ 48.38	306.73 $\pm$ 61.97	278.10 $\pm$ 49.20
TGF- $\beta$ (ng/L)						
常规即时组	74.28 $\pm$ 10.32	86.98 $\pm$ 17.59	84.27 $\pm$ 8.53	96.02 $\pm$ 17.87	91.07 $\pm$ 19.92	90.43 $\pm$ 26.86
装置即时组	73.62 $\pm$ 12.61	84.45 $\pm$ 16.59	89.05 $\pm$ 10.55	97.92 $\pm$ 14.58	86.80 $\pm$ 22.13	89.50 $\pm$ 18.20
MDA (mmol/L)						
常规即时组	0.29 $\pm$ 0.05	0.32 $\pm$ 0.05	0.33 $\pm$ 0.04	0.35 $\pm$ 0.04	0.33 $\pm$ 0.05	0.32 $\pm$ 0.04
装置即时组	0.29 $\pm$ 0.05	0.33 $\pm$ 0.06	0.35 $\pm$ 0.04	0.33 $\pm$ 0.05	0.33 $\pm$ 0.06	0.30 $\pm$ 0.07
SOD (U/L)						
常规即时组	175.68 $\pm$ 35.46	175.29 $\pm$ 31.31	142.32 $\pm$ 10.75	132.98 $\pm$ 40.71	174.03 $\pm$ 40.38	159.59 $\pm$ 39.12
装置即时组	161.07 $\pm$ 19.21	153.28 $\pm$ 24.50	133.49 $\pm$ 16.72	136.81 $\pm$ 61.96	145.00 $\pm$ 56.50	144.23 $\pm$ 33.67

常规即时组组内不同时间点与浸泡后 3 h 比较, \*  $P < 0.05$ ; 装置即时组组内不同时间点与浸泡后 3 h 比较, #  $P < 0.05$

表 3 海水浸泡腹腔开放伤犬电解质、血气、生化指标检测( $\bar{x}\pm s, n=5$ )

时间	致伤前	浸泡 3 h	冲洗后 2 h	冲洗后 1 d	冲洗后 3 d	冲洗后 5 d
<b>Na<sup>+</sup> (mmol/L)</b>						
常规即时组	144.24±1.66 <sup>*</sup>	153.50±3.25	146.44±1.80	143.64±1.25 <sup>*</sup>	142.12±2.86 <sup>*</sup>	141.26±1.31 <sup>*</sup>
装置即时组	143.24±2.14 <sup>#</sup>	153.70±3.84	144.96±1.59 <sup>#</sup>	143.08±0.86 <sup>#</sup>	141.80±2.32 <sup>#</sup>	141.06±1.39 <sup>#</sup>
<b>K<sup>+</sup> (mmol/L)</b>						
常规即时组	3.64±0.12 <sup>*</sup>	4.00±0.18	3.88±0.08	3.64±0.20 <sup>*</sup>	3.54±0.21 <sup>*</sup>	3.44±0.13 <sup>*</sup>
装置即时组	3.60±0.14 <sup>#</sup>	4.12±0.20	3.79±0.10 <sup>#</sup>	3.54±0.08 <sup>#</sup>	3.44±0.14 <sup>#</sup>	3.45±0.07 <sup>#</sup>
<b>Ca<sup>2+</sup> (mmol/L)</b>						
常规即时组	2.42±0.12	2.46±0.17	2.33±0.15	2.41±0.14	2.43±0.12	2.44±0.07
装置即时组	2.42±0.10	2.39±0.10	2.30±0.09	2.38±0.08	2.41±0.10	2.41±0.05
<b>Cl<sup>-</sup> (mmol/L)</b>						
常规即时组	112.36±2.23 <sup>*</sup>	124.82±1.18	122.14±3.40	115.88±3.27 <sup>*</sup>	111.50±1.08 <sup>*</sup>	110.22±1.66 <sup>*</sup>
装置即时组	111.32±1.92 <sup>#</sup>	124.96±2.09	121.40±3.75	117.28±2.32 <sup>#</sup>	110.68±2.11 <sup>#</sup>	109.82±1.00 <sup>#</sup>
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mmol/L)</b>						
常规即时组	18.28±0.58 <sup>*</sup>	14.22±1.13	15.54±0.46 <sup>*</sup>	17.46±0.93 <sup>*</sup>	18.40±0.61 <sup>*</sup>	18.02±0.26 <sup>*</sup>
装置即时组	18.06±0.87 <sup>#</sup>	14.66±1.00	16.20±0.68 <sup>#</sup>	17.36±0.86 <sup>#</sup>	18.14±0.42 <sup>#</sup>	18.00±0.29 <sup>#</sup>
<b>pH</b>						
常规即时组	7.41±0.01	7.30±0.02	7.36±0.02	7.39±0.03	6.80±1.35	7.40±0.02
装置即时组	7.40±0.03	7.29±0.05	7.36±0.02	7.40±0.03	7.40±0.03	7.41±0.03
<b>乳酸 (mmol/L)</b>						
常规即时组	6.61±0.44 <sup>*</sup>	8.16±0.19	7.78±0.07 <sup>*</sup>	7.06±0.32 <sup>*</sup>	6.79±0.37 <sup>*</sup>	6.57±0.27 <sup>*</sup>
装置即时组	6.55±0.37 <sup>#</sup>	8.19±0.21	7.74±0.11 <sup>#</sup>	7.08±0.30 <sup>#</sup>	6.70±0.38 <sup>#</sup>	6.64±0.48 <sup>#</sup>
<b>乳酸脱氢酶 (U/L)</b>						
常规即时组	244.40±23.25 <sup>*</sup>	359.74±20.42	581.98±29.12 <sup>*</sup>	732.12±53.10 <sup>*</sup>	1008.24±69.31 <sup>*</sup>	854.26±63.84 <sup>*</sup>
装置即时组	238.50±35.30 <sup>#</sup>	365.94±27.91	593.30±35.29 <sup>#</sup>	771.38±33.46 <sup>#</sup>	910.70±65.71 <sup>#</sup>	931.56±86.64 <sup>#</sup>

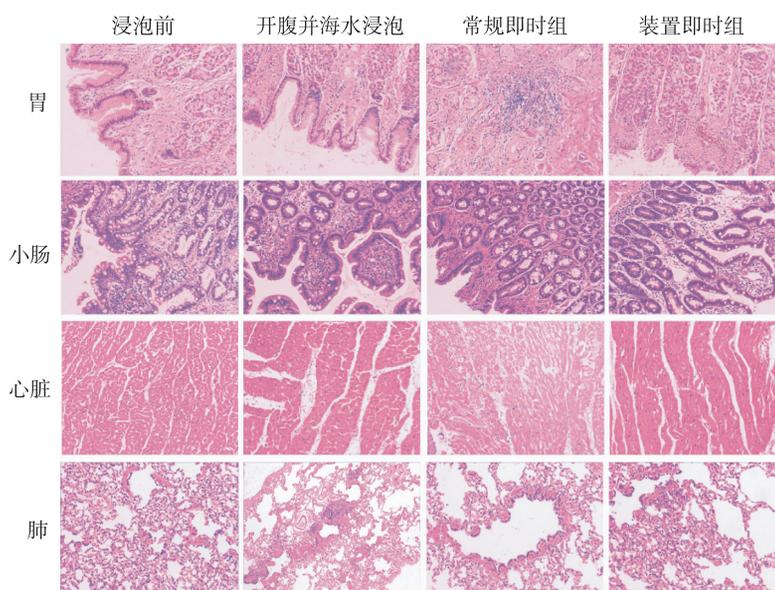


图 2 犬不同处理的胃、小肠、心脏和肺组织染色图(HE ×100)

**2.5 便携式腹腔灌洗装置对海水浸泡腹腔开放伤犬组织细胞超微结构的影响** 透射电镜观察不同处理犬的肝、胃和小肠组织细胞的超微结构。海水浸泡前肝细胞细胞核染色质及细胞质有少量的溶解。海水浸泡 3 h 后肝组织坏死、结构紊乱,细胞核染色质及细胞质有一定程度的溶解,细胞膜不完整。常规即时组和装置即时组之

间无明显差异,肝细胞细胞核染色质及细胞质有一定程度的溶解,线粒体肿胀、灶性空化,细胞膜不完整。海水浸泡前肠绒毛完整,排列整齐。海水浸泡后小肠上皮细胞空泡变性,粗面内质网扩张,线粒体轻度肿胀,部分杯状细胞排空,间质水肿伴炎症细胞浸润。心脏、胃和肺组织无明显的差异表现。见图 3。

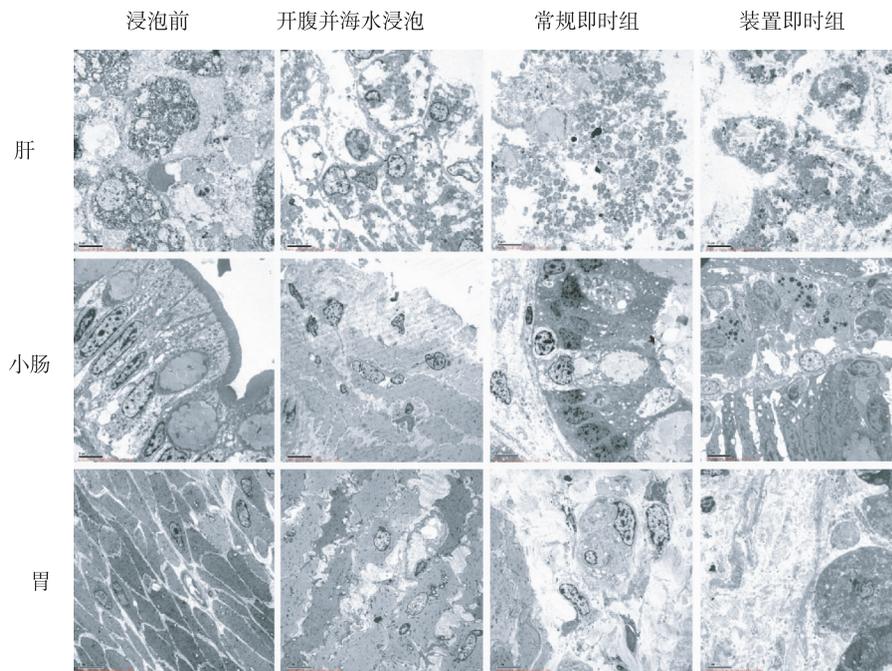


图 3 犬不同处理的肝、胃和小肠组织细胞的超微结构( $\times 2000$ )

### 3 讨 论

海水导热系数大、温度低、含菌量高,伤员落水导致海水浸泡伤口或进入体腔,对机体造成严重的损害,也增加了战创伤的救治难度<sup>[5-6]</sup>。高渗海水进入腹腔后可通过体腔浆膜透析作用,致使细胞外液中的水分大量外排,造成循环血量急剧减少,血浆  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  浓度显著升高, $\text{HCO}_3^-$  浓度显著下降,引起高钠、高钾、高氯血症,严重的代谢性酸中毒和快速进展的低血容量性休克<sup>[5, 7-9]</sup>。海水中致病菌引起的感染能增加血管的通透性,引起软组织水肿,产生蛋白水解酶、脂解酶、溶细胞素等,破坏人体正常细胞结构,导致败血症<sup>[6]</sup>。同时,致病菌经腹膜进入血液循环,可导致休克、多功能器官衰竭等全身病变<sup>[10]</sup>。另外,由于水的比热和导热系数大、海水的温度低,海水浸泡导致人体体温迅速降低,长时间的低体温会导致人体心血管紊乱、心衰竭、胃溃疡、代谢性酸中毒和肾衰竭等<sup>[6, 11]</sup>。而实战状态下外伤可能更为复杂,腹腔开放伤往往还伴有烧伤、骨折、空腔脏器损伤等,被海水浸泡后,其感染几率更高,生存率则更低<sup>[12]</sup>。

因此,救治海水浸泡腹腔开放性创伤的伤员,首要任务是使其尽快脱离海水环境,减少伤口在海水中的浸泡时间;然后采取清创复温、腹腔灌洗、纠

正水电解质紊乱、抗感染等治疗措施。研究表明,早期行腹腔灌洗复温可明显提高海水浸泡腹腔开放伤实验动物的生存率,并以腹腔温热低渗盐水持续灌洗为主的中心复温法疗效最佳<sup>[2-3]</sup>。腹腔灌洗复温后,体温迅速回升,腹膜脏层静脉回流入门静脉,可使肝脏复温;肝脏的复温有利于提高酶的活性,消除体温过低产生的酸性代谢物和毒素<sup>[13]</sup>。陈兵等通过研究表明胸腔灌洗相对于低渗补液等传统治疗方法可以较快地纠正体内的高钠和高渗状态,使伤者更早脱离高渗环境,为成功抢救创造条件<sup>[14]</sup>。同时,当胸部或腹部受到机械损伤,海水以及空气进入到腹腔或者胸腔,诱导机体炎症反应,募集中性粒细胞、单核细胞以及淋巴细胞到暴露的肠、胃、肺等组织中,并释放 VEGF、TNF- $\alpha$ 、IL-6 等多种炎症因子<sup>[15-17]</sup>。因此,早期腹腔灌洗复温具有重要作用:①使机体迅速脱离高渗海水浸泡状态,减少海水对机体的损害。②快速有效的进行腹腔中心复温,减轻低温海水对各脏器功能的损害。③清除进入腹腔的病原微生物。④改善微循环状态,降低 MODS 发生率。

海战条件下如何在伤后尽早进行腹腔灌洗复温是救治成功的关键因素。在本研究中,我们设计研制了一种适合海战条件的便携式腹腔灌洗装置。通过该装置对海水浸泡腹腔开放伤犬进行即时

腹腔灌洗复温。结果显示,本方法能快速稳定生命体征,纠正水电解质紊乱和酸碱失衡,降低 TNF- $\alpha$ 、IL-6、IL-1b、IL-8、IFN- $\gamma$ 、VEGF、TGF- $\beta$ 、MDA 等因子的表达,一定程度上抑制了实验犬胃、小肠、肝、肺等重要器官组织的炎症反应,达到了与常规灌洗复温相当的效果。然而,除了灌洗复温之外,海水浸泡开放伤的早期综合救治还应包括抗休克、抗高渗、高钠、高氯血症以及抗感染等治疗<sup>[18]</sup>。单纯的进行灌洗复温救治效果有限,这可能是导致海水腹腔开放伤犬在灌洗复温后 CVP、MAP、心率、电解质等不能及时纠正的原因。

在海上特定的环境下,受条件的限制,救助伤员存在特定的困难。舰船上大多缺乏良好的救治条件及便捷的后送工具,导致无法及时后送。当出现海水浸泡腹腔开放伤伤员时,目前的救治模式是伤口包扎、补液、抗感染治疗并等待后送,待后送到后方有条件的医院后,方可进行腹腔灌洗复温、清创等确定性处理。这样使伤员无法尽快脱离海水浸泡造成的损伤,延误了救治时机,最终必然会影晌救治成功率。本研究设计研制的便携式腹腔灌洗装置,简单易学,使用方便,达到了与常规腹腔灌洗复温相当的效果,能在等待后送及后送途中进行,为后送及后续治疗赢得时间,满足了海战条件下现场急救的要求,为海水浸泡腹腔开放伤的救治提供了一种新的思路。

#### 【参考文献】

- [1] 庄永敬,谢培增,陈大军,等.海上环境下海战伤救治的实验研究[J].华南国防医学杂志,2010,24(2):141-144,153.
- [2] 尚立群,王伟,虞积耀,等.低温对兔海水浸泡腹部开放伤生存率的影响及早期复温的作用观察[J].解放军医学杂志,2010,35(12):1496-1498.
- [3] 杨兴东,王育红,虞积耀,等.不同复温方式对犬腹部开放伤合并海水浸泡救治时血流动力学的影响[J].解放军医学杂志,2004,29(12):1031-1033.
- [4] 高广周,李大伟,李欣,等.腹部开放伤后海水浸泡大鼠肠组织中 MDA 与 SoD 含量变化及意义[J].河北医科大学学报,2010,31(10):1231-1233.
- [5] 虞积耀,赖西南.海战伤合并海水浸泡伤的伤情特点及救治技术研究进展[J].解放军医学杂志,2004,29(12):1017-1019.
- [6] 陈肖松,程迅生.海水浸泡开放性创伤损伤机制及治疗的研究进展[J].安徽医学,2011,32(10):1781-1783.
- [7] 姜福亭,王育红,段蕴钊,等.犬腹部开放伤合并人工海水浸泡后水、电解质的变化[J].创伤外科杂志,2003,5(5):360-363.
- [8] 周松,张文华,李冉冉,等.乌司他丁联合血必净对海水浸泡腹腔开放伤兔血流动力学的影响[J].西南国防医药,2013,23(3):236-239.
- [9] 王育红,鹿尔驯,虞积耀,等.海水浸泡腹部开放性损伤对大鼠体液代谢的影响[J].第二军医大学学报,2000,21(8):786-788.
- [10] 沈宏亮,王强.海水浸泡创伤病理生理变化和救治措施的研究进展[J].第二军医大学学报,2003,24(12):1365-1367.
- [11] 袁瑞,张志成.意外低体温症研究进展[J].解放军医学杂志,2016,41(4):339-342.
- [12] 王培,管云枫,徐添颖,等.G-CSF 对大鼠烧伤合并海水浸泡后内皮祖细胞的影响[J].东南国防医药,2013,15(1):1-3.
- [13] 江朝光,毕建立,李佳春,等.3种方法对海水浸泡致重度体温过低症犬的复温效果研究[J].中华胸心血管外科杂志,2001,17(6):42-44.
- [14] 陈兵,陆中元,张骏,等.胸腔灌洗对海水浸泡胸部开放伤高渗状态的疗效[J].东南国防医药,2012,14(5):393-395.
- [15] Hu XH, Duan YY, Li Y, et al. Early responses of VEGF during acute lung injury induced by seawater immersion after open chest trauma[J]. Respiration, 2010, 79(6): 490-496.
- [16] 张文华,周松,张行健,等.乌司他丁联合血必净可抑制海水浸泡腹腔开放伤兔的炎症反应[J].中医临床研究,2014,(27):12-17.
- [17] 张炎,刘刚,王育红,等.肿瘤坏死因子- $\alpha$ 、白介素-6、丙二醛、超氧化物歧化酶在大鼠腹腔海水浸泡伤中的表达[J].实用医学杂志,2009,25(22):3764-3766.
- [18] 曹建雄,谢培增,王克刚,等.平时海上灾害海水浸泡胸部开放伤患者的院前急救[J].广东医学,2011,32(4):463-465.

(收稿日期:2017-07-20; 修回日期:2017-09-05)

(责任编辑:叶华珍; 英文编辑:王建东)