

创伤合并海水浸泡致伤特点及优先处置原则

林 颖, 孙 艳, 郭 凤综述, 陈剑虹审校

【摘要】 创伤合并海水浸泡后会进一步加剧机体损伤, 由于海水的特殊性决定了海水浸泡伤的致伤特点: 严重低温症、高渗性脱水、严重感染。因此, 创伤合并海水浸泡伤情更加复杂, 伤者致死率更高。明确海水浸泡后的致伤机制, 对于创伤合并海水浸泡的救治意义重大。文章就创伤合并海水浸泡致伤特点及优先处置原则进行综述。

【关键词】 创伤; 海水浸泡; 严重低温症; 高渗性脱水

【中图分类号】 R649.3 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1672-271X(2023)02-0183-04

【DOI】 10.3969/j.issn.1672-271X.2023.02.015

Characteristics of trauma combined with seawater immersion and principle of priority treatment

LIN Ying, SUN Yan, GUO Feng reviewing, CHEN Jianhong checking

(Department of Emergency, The 944th Hospital of the PLA Joint Logistic Support Force, Jiuquan 735000, Gansu, China)

【Abstract】 Trauma combined with seawater immersion will further aggravate the body injury. Due to the particularity of seawater, the characteristics of seawater immersion injury are determined: severe hypothermia, hypertonic dehydration, and severe infection. As a result, the combination of trauma and saltwater immersion is more complicated and the casualty fatality rate is higher. It is of profound significance to understand the injury mechanism after seawater immersion for the treatment of trauma combined with seawater immersion. In this paper, the characteristics and priority management principles of trauma combined with seawater immersion were reviewed.

【Key words】 trauma; seawater immersion; hypothermia; hyperosmotic dehydration

0 引 言

创伤合并海水浸泡后, 由于海水具有低温、高渗、复杂感染的特性, 从而使得创伤合并海水浸泡后伤情更加复杂, 死亡率更高, 其救治更具有挑战性^[1]。既往报道在海上发生暴乱后, 90%的伤员为炮弹伤, 并伴有烧伤和骨折, 不同程度受海水浸泡的影响^[2]。海水浸泡伤可分为创伤合并海水浸泡, 单纯淹溺, 单纯海水浸泡等, 本文就创伤合并海水浸泡致伤特点、及优先处置原则作一综述。

1 创伤合并海水浸泡致伤特点

海上创伤与陆地创伤类似, 均是使用高能量致伤武器, 作用于机体后导致严重的创伤, 通常以爆炸伤为主, 还包括颅脑损伤、烧伤、胸腹部联合伤、四肢骨折等多发伤或复合伤^[3-4]。但不同的是, 海上创伤会合并有海水浸泡或淹溺, 因此创伤合并海水浸泡的致伤特点和优先救治原则相较于普通创伤会有些不同。伤员在短时间内连续遭受两次损伤——创伤、海水浸泡, 可导致一系列病理生理变化, 极可能发生多器官功能障碍综合征, 进一步加重伤情, 致死率和致残率会高于普通创伤^[5]。海水具有低温、高渗的特点, 并含有大量致病微生物, 其中最主要的致病微生物为革兰氏阴性弧菌^[6-8]。正由于海水的上述特性决定了创伤合并海水浸泡特殊的病理生理变化。同时, 由于海上环境

作者单位: 735000 酒泉, 解放军联勤保障部队第九四四医院急诊科
(林 颖, 孙 艳, 郭 凤, 陈剑虹)

通信作者: 陈剑虹, E-mail: 2602565725@qq.com

的特殊,在狭小密闭的环境中伤员通常会批量出现,且开展救治的条件有限,空间狭窄、晃动等因素,对医护人员救治带来巨大挑战。

1.1 创伤合并海水浸泡后导致低体温 低体温是创伤合并海水浸泡中尤为常见的问题,对于创伤患者,体温低于 36 ℃就会出现一系列病理生理变化,低体温可以抑制呼吸,导致心血管功能紊乱^[9-11],症状包括体温降低、心率减慢、血压下降、意识障碍,更严重者会直接导致呼吸心跳骤停^[12]。患者体温下降至 33 ℃其凝血功能相比正常体温患者下降了 50%,低体温会使机体凝血因子、血小板功能下降,导致严重的凝血功能障碍^[13-14],易导致创伤后难以控制的出血,也不利于创伤感染控制^[15];此外,低体温也会引发机体内环境稳态功能失调,呼吸抑制导致机体缺氧、大量 CO₂ 积聚,呈现严重的混合型酸中毒。因此,低温海水浸泡会诱发低体温症、酸中毒、凝血功能障碍——“致死三联征”^[16]。低体温会降低机体新陈代谢,短时间内对重要器官功能具有保护作用,但随着浸泡时间延长,机体内环境稳态失调后损伤会更加严重,陈丽娜等^[17]动物实验表明,大鼠单纯低温海水浸泡 5 h 后,器官功能损伤标志物明显高于正常组,说明损伤会随着浸泡时间延长进一步加重,因此创伤合并海水浸泡伤员的救治需要争分夺秒。

1.2 创伤合并海水浸泡后导致高渗性脱水 我国海域海水盐度在 30‰左右,化学成分主要是 NaCl 26.518 g/L,还包括不同比例的 KCl、CaCl₂、MgCl₂、NaHCO₃、MgSO₄等^[18],海水 pH 值 8.00~8.21,属高渗、强碱性水^[19],当胸腹部开放性伤被海水浸泡后,通过胸、腹腔浆膜透析作用,引起高渗性脱水,严重时导致机体休克,进一步加重缺血、缺氧。血液呈现高凝状态,高钠、高氯血症,机体死亡率会增加。已有研究证明,偏碱性溶液会抑制伤口组织增殖活性,伤口周围呈碱性环境有利于细菌生长,导致伤口更易感染,只有接近弱酸性环境才有利于控制伤口感染、促进伤口愈合^[20]。现有研究表明,简单伤口在海水浸泡后愈合时间将延迟 10 d^[21]。创伤合并海水浸泡伤员体内电解质变化情况与海水浸泡时间有关,浸泡时间越长,血液电解质变化更加明显,虞积耀等^[22]动物实验证实单纯海水浸泡随时浸泡时间延长,血浆钠离子、氯离子浓度进一步增高,进一步证实需要尽快让患者脱离海水浸泡环境。

1.3 创伤合并海水浸泡后导致严重感染 海水中含有大量致病微生物,目前发现海水中含有 20 多种

对人体有明显致病作用的细菌,其中创伤弧菌含量最多,是开放性创伤合并海水浸泡导致感染的重要致病菌^[23],我国学者对创伤合并海水浸泡后感染进行了大量动物实验研究,当创伤部位合并海水浸泡时可进一步加重伤口及周围组织的水肿、变性、坏死和炎症反应,更严重者会发生脓毒血症甚至脓毒性休克^[24-25]。海水特有菌群,加上肠道菌群移位或失调,皮肤定植菌群等混合感染是创伤合并海水浸泡的重要感染特征^[26]。因此,海水浸泡后伤口现场紧急处理显得尤为重要。

2 创伤合并海水浸泡优先处置原则

由于海上环境恶劣、气候复杂多变,船艇颠簸等,这些因素导致创伤合并海水浸泡伤员救治及后送难度较大,对海上开展伤员救治带来很大的挑战。基于创伤合并海水浸泡的特点及救治“三难”——搜救难、手术难、后送难的特点,对创伤合并海水浸泡伤员迅速开展一线救治显得尤为重要,通常伤员伤情比较重,需要分步展开救治,通过损伤控制性复苏技术等稳定伤员伤情,为转运后送进一步治疗创造机会^[27]。

2.1 迅速脱离海水浸泡环境并进行伤情评估 创伤合并海水浸泡伤员现场救治主要任务是使伤员快速脱离海水浸泡环境。首先立即将落水伤员打捞起来,需要争分夺秒,已有研究表明,在海水中浸泡的时间越长,伤员伤情会愈重,死亡率越高^[18]。为避免伤员处于休克状态,打捞时动作尽量平稳,让伤员处于平卧状态,随后立即对伤员的伤情做出判断,了解局部伤情和全身情况。按照 MARCH (massive hemorrhage, airway, respiration, circulation, hypothermia) 顺序法进行伤情评估,依次评估伤员有无大出血、气道梗阻、气胸(张力性和开放性)、循环功能紊乱和低体温,且应边评估边对致命性伤情进行处理。按照临床上遵循的顺序检查即 A (airway 气道)、B (breathing 呼吸)、C (cardiac 心脏)、D (digestion system 消化系统)、E (excretion 排泄,泌尿系统)、F (fracture 骨折),最大不同是将低温纳入评估中,因为创伤合并海水浸泡后极有可能合并低体温,低温是造成严重创伤患者“致死三联征”中非常重要的独立危险因素之一,对创伤合并海水浸泡伤员预后有重要的影响^[28]。

2.2 基础常规处理 针对海水浸泡伤的三个致伤特点,现场对海水浸泡伤口主要处理好以下四个问题,简称“三化一灭”^[29],①“暖化伤口”:采用物理

等干预手段“暖化”伤口,提高机体核心温度,从而增加伤口血液灌注和肉芽组织增殖活性,提升凝血功能,减少继续出血。如在抗菌敷料包扎后外层加用弹力绷带或者棉垫包扎固定,有条件可加用红外线自发热压力绷带包扎固定,使局部温度维持在 $36 \sim 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$,促进伤口愈合;②“淡化盐分”:在快速止血的前提下,利用饮用水或灭菌水对伤口反复冲洗,稀释、“淡化”伤口中的高渗溶液,以缓解其对组织的继续损害作用;③“酸化环境”:利用弱酸性溶液湿敷伤口(如壳聚糖抗菌溶液、抗菌蛋白酶敷料湿敷)、“酸化”伤口周围环境,促进伤口组织增殖活性,抑制伤口周围细菌生长;④“灭活细菌”:利用各类抗菌敷料,“灭活”伤口周围细菌或抑制其增殖,降低感染风险,如藻酸盐银或亲水纤维银敷料、纳米银敷料等,增强抑菌和引流作用,控制感染和炎症反应^[30]。对于不同部位创伤采取相应抢救措施,在处理的同时,需要采用阶梯复温、保暖、吸氧、补液等基础措施,纠正低体温、低氧、严重血流动力学紊乱、电解质、酸碱平衡紊乱,有条件的可迅速完善相关检查或后送^[31]。

2.3 辅助治疗 除常规治疗外,治疗措施已有新的进展。针对发生失血性休克的伤员,按照“损伤控制性复苏”技术展开救治,我国学者在动物实验中已证实:早期应用氨甲环酸止血,有条件者早期输注血浆治疗可以有效减少继续出血,改善凝血功能及微循环,缓解休克,可降低早期死亡率^[32]。负压封闭引流技术(vacuum sealing drainage, VSD)可增加组织灌注,提升周围温度,促进伤口愈合,降低创面感染率,已成为创伤性伤口标准治疗方法^[33]。由于海上环境特殊,对于经海水浸泡后大而深的全层伤口,建议尽早实施特殊环境下的便携式 VSD,促进伤口愈合^[34]。研究证明,海水浸泡后 2 h 使用 VSD 处理伤口,能改善组织血运,加速肉芽组织生长^[35]。

2.4 新式技术及材料的应用 新型材料及装备的应用可以显著提高救治效率,针对海水浸泡伤情特点,目前国内外研究了许多新型材料及设备。在胸腹部开放性伤合并海水浸泡时可使用便携式腔隙灌洗器,利用加温灭菌水及时灌洗,起到复温和淡化盐分作用,可降低海水浸泡开放性胸腹部损伤的炎症反应,减少器官功能损伤,加快恢复速度^[36]。自发热保暖外固定敷料的应用对于提高伤口周围环境温度,促进血液循环,加快组织修复有一定功效^[37]。新型功能敷料——壳聚糖-明胶-载盐酸环丙沙星的明胶微球可使伤口周围抗炎因子明显升

高,内毒素和促炎因子明显下降,从而促进伤口愈合、抑制细菌生长^[38]。血小板凝胶可促进创伤合并海水浸泡小鼠创面修复,缩短创面愈合时间、提高治愈率^[39]。对于创伤合并海水浸泡,海藻酸盐敷料联合负压封闭引流技术有利于减轻组织炎症反应,促进成纤维细胞增殖及微血管生成,从而促进伤口的良性愈合^[40]。电针足三里能显著提高失血性休克海水浸泡损伤动物的平均动脉压和心率,降低血乳酸水平,改善腹腔脏器血流量,具有一定的抗海战伤休克作用^[41]。此外,利用利用大数据和人工智能技术建立创伤合并海水浸泡伤情评估系统,有利于提高我国海战伤情的评估效率和临床决策能力^[42]。

3 结语与展望

综上所述,针对创伤合并海水浸泡致伤特点,及海上救治条件的限制,在开展海上创伤救援工作时,需要快速、有序处理,这对于后期预防感染、伤病康复十分重要。笔者认为,鉴于海上救援条件,未来海上救援研究方向关键在研究便携式多功能救护包,将“三化一灭”四个关键点体现在救护包中,这将有助于在快速、有序处理创伤合并海水浸泡伤情中发挥作用。未来海上冲突会更加频发,医护人员开展创伤合并海水浸泡伤员救治至关重要。在掌握海水浸泡伤的特点后,针对特殊变化,有条不紊的展开救治才能确保高效救援。目前对创伤合并海水浸泡有一定重视和认识,对急危重伤情的损伤机制有一定了解,积累了较多救治经验,但目前研究的深度还远远不够。为进一步提高创伤合并海水浸泡救治水平,进一步降低致死率和致残率,还需广大医务工作者对创伤合并海水浸泡的发病机制和综合救治进行更加深入的系列研究,为创伤合并海水浸泡伤员的科学救治奠定坚实的基础。

【参考文献】

- [1] 李勇,李国华,李明华.海水浸泡伤早期救治原则[J].临床军医杂志,2008,36(6):981-983.
- [2] 韦兴,侯树勋.海水浸泡火器伤的特点与救治原则[J].解放军预防医学杂志,2003(1):76-78.
- [3] 朱思悦.海战伤院前急救训练中标准化伤员分级评价指标体系的构建与初步应用[D].中国人民解放军海军军医大学,2019.
- [4] 夏照帆,马兵.现代战争条件下海战创伤救治的几点思考[J].解放军医学杂志,2016,41(12):973-976.
- [5] 段蕴铤,胡晓红.战伤后海水浸泡致伤情危重综合机制及

- 整体救治的研究现状[J].中华航海医学与高气压医学杂志, 2010,17(2):65-67.
- [6] 宁浩勇,孟宇宏,刘肖,等.火器伤合并海水浸泡后的愈合过程观察[J].中国医药导刊,2015,17(1):86-88.
- [7] 宁浩勇,孟宇宏,刘肖,等.创伤合并海水浸泡后愈合过程延迟的因素分析[J].转化医学杂志,2013,2(5):272-276.
- [8] 刘瑾红,韩善桥.海战伤细菌感染特点及抗菌药物的应用[J].人民军医,2014,57(10):1043-1044.
- [9] 吴敏靓,王宇翀,薛春雨.皮肤软组织损伤合并海水浸泡的救治现状及进展[J].中国美容整形外科杂志,2018,29(10):639-642.
- [10] 张建,喻锡成,王猛.海上落水人员低温症救治技术与装备现状及发展对策[J].医疗卫生装备,2016,37(5):121-124.
- [11] Tang M, Zhao XG, He Y, *et al.* Aggressive re-warming at 38.5 °C following deep hypothermia at 21 °C increases neutrophil membrane bound elastase activity and pro-inflammatory factor release[J]. Springerplus, 2016,5:495.
- [12] Peiris AN, Jaroudi S, Gavin M. Hypothermia[J]. JAMA, 2018, 319(12):1290.
- [13] 葛世伟,刘云,何先弟.低温对创伤患者生理功能影响的新认识[J].医学研究生学报,2013,26(1):93-97.
- [14] 张国丽,冯贵龙.创伤后凝血功能障碍的相关因素研究进展[J].中西医结合心脑血管病杂志,2019,17(15):2305-2307.
- [15] Jin H, Hou LJ, Fu XB. Medical rescue of naval combat: challenges and future[J]. Mil Med Res, 2015,2:21.
- [16] 刘艳丽,田昆仑,朱娱,等.低温海水浸泡合并失血休克对大鼠致死三联征及器官功能的影响[J].第三军医大学学报,2020,42(8):752-757.
- [17] 陈丽娜,免剑波,史成和,等.海水浸泡对大鼠血液指标和主要脏器组织结构的影响[J].动物医学进展,2018,39(5):64-68.
- [18] 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(12):1017-1019.
- [19] 朱磊,盛嘉隽,杨鹏,等.美军海上严重四肢伤损伤控制策略及对我军的海上外科手术队建设的启示[J].海军医学杂志,2020,41(6):748-751.
- [20] Wei M, Jiang QX, Niu N, *et al.* Reduction of biofilm in chronic wounds by antibacterial protease combined with silver dressing [J]. Int J Clin Exp Med, 2019, 12(10): 12293-12302.
- [21] Ning HY, Meng YH, Liu X, *et al.* Recording the healing progress-changes of the firearm wounds after seawater immersion model in Wistar rats[J]. Chin J Med Guide, 2015, 17(1): 86-88.
- [22] 虞积耀.海战落水伤员的伤情特点及早期救治原则[C].中国体视学学会,2005:22-26.
- [23] Fang Q, Yao Z, Feng L, *et al.* Antibiotic-loaded chitosan-gelatin scaffolds for infected seawater immersion wound healing[J]. Int J Biolog Macromol, 2020, 159(5): 1140-1155.
- [24] 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.
- [25] 李玉涵,窦桂芳,甘慧,等.防海水壳聚糖复合敷料对大鼠创伤愈合的促进作用[J].国际药学研究杂志,2018,45(12):934-939+948.
- [26] 陆蕾,孙成荣,杨波,等.创伤合并海水浸泡的抗感染治疗研究进展[J].中华航海医学与高气压医学杂志,2013,20(6):432-434.
- [27] 谈梦伟,卢正茂,白一帆,等.前沿手术队和损伤控制性手术在海战伤救治中作用的思考[J].西南国防医药,2019,29(11):1160-1161.
- [28] 宗兆文,张连阳,秦昊,等.我军战伤伤情评估和诊断方法的专家共识[J].解放军医学杂志,2018,43(3):181-188.
- [29] 蒋琪霞,王雅婧,刘国帧.海水浸泡伤伤口紧急处理策略[J].创伤外科杂志,2022,24(3):239-241.
- [30] 魏敏,蒋琪霞,王琳涛.蜂蜜对慢性伤口细菌生物膜作用的研究进展[J].医学研究生学报,2017,30(10):1112-1120.
- [31] 张世荣,姚远,皮静.海战伤合并海水浸泡伤的研究进展[J].海军医学杂志,2022,43(11):1255-1257.
- [32] 岑坚,杨平地,沈建良,等.犬腹部外伤合并海水浸泡后应用血浆救治的研究[J].解放军医学杂志,2007,32(8):879-882.
- [33] Yi L, Juan W, Gang C, *et al.* Seawater immersion aggravates early mitochondrial dysfunction and increases neuronal apoptosis after traumatic brain injury [J]. Cell Mol Neurobiol, 2020, 40(3):447-457.
- [34] Iheozor-Ejiofor Z, Newton K, Dumville JC, *et al.* Negative pressure wound therapy for open traumatic wounds [J]. Cochrane Database Syst Rev, 2018,7(7):CD012522.
- [35] Cao MM, Peng JJ, Sun XC, *et al.* Application of vacuum-assisted closure in seawater-immersed wound treatment under different negative pressures [J]. Genet Mol Res, 2015, 14(2):6146-6155.
- [36] Zhou S, Nie K, Zhang W, *et al.* Effects of a portable peritoneal lavage device on dogs with seawater-immersed open abdominal injury [J]. Gastroenterol Res Pract, 2019, 26(3): 6132504.
- [37] 朱凌雅.创面持续恒温加热敷料对于小鼠全层皮肤缺损创面愈合的影响[D].浙江大学,2018.
- [38] Fang Q, Yao Z, Feng L, *et al.* Antibiotic-loaded chitosan-gelatin scaffolds for infected seawater immersion wound healing [J]. Int J Biol Macromol, 2020, 15(159): 1140-1155.
- [39] 王晓英,王蕾,晋晶,等.血小板凝胶促进海水浸泡伤小鼠软组织创伤愈合的实验研究[J].军事医学,2020,44(3):198-201.
- [40] 梅子健,蒋佳霖,张卫航,等.海藻酸盐敷料联合负压封闭引流对海水浸泡创面的抗炎效果分析[J].海军军医大学学报,2022,43(5):484-489.
- [41] 王莉莉,胡森,张海湃,等.电针足三里对失血性休克合并海水浸泡损伤大鼠的作用研究[J/OL].上海针灸杂志, <https://doi.org/10.13460/j.issn.1005-0957.2023.13.300>.
- [42] 方诚,李兆申,沈锋.基于大数据+人工智能的现代海战伤腹部伤情评估研究[J].海军医学杂志,2022,43(11):1249-1251.

(收稿日期:2023-02-07; 修回日期:2023-03-16)

(责任编辑:刘玉巧; 英文编辑:吕铮烽)