保温救生衣对低温海水浸泡犬的保护作用研究

林　楠　蔡志聪　吴伟航　杨为锦　洪　杰　林　丽　林志雄　林　晨　王　瑜　陈东生

摘　要　目的　探讨保温救生衣对低温海水浸泡犬的保护作用。**方法**　将10只中华田园犬随机分成两组。实验组穿上自行研发的保温救生衣，对照组穿上普通救生衣。两组动物置于11.00±0.24℃的海水中，于浸泡前、浸泡后在海水中观察两组动物的生存情况、肛门温度、平均动脉压、心率及呼吸，并检测凝血指标及血浆乳酸(LAC)。待动物死亡时，取其重要器官(肝脏、心脏、肺等)做HE染色病理切片分析。**结果**　实验组动物生存时间均超过4h，对照组动物4h内病死率为100%。实验组有更加显著的保温效果，其浸泡后3h的肛门温度、平均动脉压、心率、呼吸及纤维蛋白原(FIB)均高于对照组($P<0.05$)，凝血酶原时间(PT)、活化部分凝血酶原时间(APTT)、凝血酶时间(TT)及血浆乳酸水平(LAC)均显著低于对照组($P<0.05$)，重要器官(肝脏、心脏、肺、腹直肌组织)病理炎性反应指标明显低于对照组。**结论**　保温救生衣能有效改善落水者的低体温现象，明显降低病死率，对维持生命的延续具有重大意义。

关键词　低体温　保温救生衣　海水浸泡

中图分类号　R849　　**文献标识码**　A　　**DOI**　10.11969/j.issn.1673-548X.2018.11.021

Study on Protective Effect of Heat Preservation Life Jacket on Low Temperature Seawater Immersion Dogs. *Lin Nan, Cai Zhicong, Wu Weihang, et al. Fuzhou General Hospital of the Chinese People's Liberation Army & Clinical Institute of Fuzhou General Hospital, Fujian Medical University, Fujian 350025, China*

Abstract　Objective　To determine protective effect of heat preservation life jacket on low temperature seawater immersion dogs. **Methods**　Ten healthy chinese countryside dogs were randomly divided into two groups. The dogs in experimental group had been put on self-developed heat preservation life jacket, while dogs in control group had been put on ordinary life jacket. Both groups animals were placed in the water of 11.00±0.24 degrees celsius. In sea water, the survival rate, anal temperature, mean arterial pressure, heart rate, respiration were observed and coagulation index and plasma lactic acid (LAC) were measured before and after sea water immersion in both groups. When all the animals died, the pathological changes in the vital organs (liver, heart, lungs, etc.) were observed by means of HE staining. **Results**　In the experimental group, all animals survived more than 4 hours, while the mortality rate of control group was 100% within 4 hours. And the experimental group had a more significant effect of heat preservation. 3 hours after seawater immersion, the levels of anal temperature、mean arterial pressure、heart rate、respiration and fibrinogen(FIB) were higher significantly in experimental groupthan that in control group($P<0.05$), while the levels of prothrombin time(PT), activated partial thromboplastin time(APTT), thrombin time(TT), blood lactate(LAC) were lower significantly in experimental groupthan that in control group($P<0.05$). The inflammatory indexes of the vital organs (liver, heart, lung, rectus abdominis muscle) were significantly better in experimental group than those in the control group. **Conclusion**　The heat preservation life jacket can effectively raise the body temperature of the drowning dog, and significantly reduce mortality, which is the great significance of continue life.

Key words　Hypothermia; Heat preservation life jacket; Seawater immersion

中国是一个海洋大国，现代海战可能出现大量伤亡和落水人员。落水人员长时间浸泡在水中，极易发生低体温。当体核温度低于35℃则称为低体温[1]。低体温、凝血功能障碍和代谢性酸中毒被称为“致命三联征”[2~5]。低体温可致机体寒战增高代谢率、氧耗增加、心排出量减少、代谢性酸中毒、凝血功能异常、多器官功能障碍综合征(MODS)等严重后果[6~9]。目前，海战医学救援依然面临巨大的挑战，加强海战落水人员自身保护和自救互救对提高获救成功率、降低病死率具有重要意义[10,11]。对此，本研

基金项目：中国人民解放军南京军区重大科研项目(15DX024)；福建省科技厅社会发展引导性(重点)项目(2016Y0072)；中国人民解放军神州总医院军事医学研究专项基金资助项目(2016J02)

作者单位：350025　中国人民解放军福州总医院、福建医科大学福总临床医学院(林楠、蔡志聪、吴伟航、杨为锦、林丽、林志雄、林晨、王瑜、陈东生)；362200　晋江市医院(蔡志聪)；350025　福建中医药大学福总临床医学院(洪杰)(注：林楠、蔡志聪为共同第一作者)

通讯作者：陈东生，副主任医师，硕士生导师，电子信箱：cdsh-eng315@sohu.com

究探讨保温救生衣对低温海水浸泡实验犬的保温效果,结果理想。

材料与方法

1. 材料:(1)实验动物:取健康成年中华田园犬 10 只,体重为 15 ~ 20kg,雌雄性别不限。实验动物均由南京军区福州总医院动物中心所提供。(2)保温救生衣的制备:保温救生衣包括防水隔热外层和设于外层内壁上的充气气囊层。充气气囊层由多个充气气囊逐一串接而成,任意相邻两个充气气囊之间的连接口处均设有使充气气体从始端充气气囊向尾端充气气囊方向流动的单向阀。充气装置为单向充气口、自动充气装置或手动充气装置。在充气的时候,气体从始端的充气气囊顺着各单向阀流动至各个充气气囊直至将全部充气气囊充满气体,充气过程短,仅需十几秒钟。每个充气气囊内含有高纯度铁粉、活性炭、非金属矿物粉和无机盐合成的聚合物,可与氧气发生氧化反应而发生放热反应。保温救生衣分为肩颈部、躯干部、上肢部(达上臂中部)和下肢部(达大腿中部),可通过拼接处的防水拉链实现拼接与拆解。(3)实验用海水:取自台湾海峡海域,该海水 pH 值为 8.20,渗透压为 1250 ~ 1350mOsm/L,相对密度为 1.05 ~ 1.06,$[Na^+]$:320.0mmol/L,$[K^+]$:8.2mmol/L,$[Cl^-]$:383.0mmol/ L。本实验经过中国人民解放军福州总医院伦理委员会的审核及批准。

2. 方法:(1)动物分组:10 只动物被随机分成两组:实验组($n=5$)为保温救生衣组;对照组($n=5$)为普通救生衣组。两组实验动物的狗龄、体重、性别等特征比较差异均无统计学意义($P<0.05$),具有可比性。(2)实验过程:实验动物采用氯胺酮(20mg/kg)肌内注射进行麻醉。将 10 只动物的毛均剃除,并于胸前皮下置入心电监护电极并缝合固定于皮肤上,连续监测动物生命征。将动脉穿刺针置入动物的股动脉并固定,外接动脉传感器,连续监测血压。将电子测温仪的探头置于动物的肛门内连续监测肛门温度。将实验组动物穿上自行设计的保温救生衣,对照组动物穿上普通救生衣,将两组动物分别置于盛有海水的恒温箱内进行观察。海水温度维持在 11.00 ± 0.24℃。实验室平均温度 25.0 ± 1.0℃。

3. 观察指标及方法:(1)两组动物的生存情况。(2)生命征变化情况:于海水浸泡前、浸泡后在海水中全程连续监测两组动物的生命征(肛门温度、平均动脉压、心率、呼吸)情况。(3)凝血功能及乳酸指标:于海水浸泡前、浸泡后每间隔 1h 检验两组动物的凝血指标[凝血酶原时间(PT)、活化部分凝血酶原时间(APTT)、凝血酶时间(TT)、纤维蛋白原(FIB))、血气分析指标(血浆乳酸(LAC)]。(4)组织学检查:待动物死亡,取肝脏、心脏、肺、脾、肾脏、腹直肌组织用 10% 中性甲醛固定,石蜡包埋,切片,HE 染色后,在光镜下行病理学检查,对比其变化。

4. 统计学方法:采用 SPSS 22.0 统计学软件对数据进行统计分析,定量资料以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,两计量资料的差异性检验使用 t 检验,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 生存情况:对照组 5 只动物均在浸泡后 4h 内死亡,4h 内病死率为 100%,死亡的平均时间为浸泡后 3.34 ± 0.25h。实验组动物生存时间均超过 4h,4h 内病死率为 0,并于浸泡后 4h 时处死实验组动物,取其器官组织做病理切片分析。

2. 生命征变化情况:低温海水浸泡后,两组实验组动物肛门温度、平均动脉压、心率、呼吸均明显下降($P<0.05$),而浸泡后后 3h 对照组水平均显著低于实验组($P<0.05$),详见表 1 。

表 1 海水浸泡前后动物生命征的动态变化($\bar{x} \pm s$)

项目	组别	n	浸泡前	浸泡后时间(h)		
				1	2	3
肛门温度(℃)	实验组	5	38.18 ± 0.83	35.36 ± 3.48	34.60 ± 3.87	29.66 ± 5.69*#
	对照组	5	38.34 ± 0.73	32.84 ± 4.77	28.86 ± 4.58#	22.60 ± 3.46#
平均动脉压(mmHg)	实验组	5	102.26 ± 11.76	98.47 ± 12.64	88.68 ± 12.64#	82.12 ± 11.47*#
	对照组	5	101.14 ± 10.79	94.57 ± 13.15#	76.89 ± 11.57#	64.85 ± 12.11#
心率(次/分)	实验组	5	176.47 ± 27.36	171.44 ± 27.06#	158.69 ± 26.65*#	147.44 ± 22.68*#
	对照组	5	174.23 ± 29.30	162.06 ± 24.93#	119.60 ± 22.52#	72.49 ± 15.93#
呼吸 (次/分)	实验组	5	35.84 ± 5.76	32.25 ± 5.89#	29.06 ± 5.79#	26.23 ± 6.26*#
	对照组	5	34.07 ± 7.08	31.62 ± 7.30#	23.62 ± 8.17#	17.45 ± 5.94#

与对照组比较,*$P<0.05$;与浸泡前比较,#$P<0.05$

3. 凝血功能及乳酸指标：低温海水浸泡后，两组动物 PT、TT、APTT、LAC 均明显升高，FIB 明显下降，而在浸泡后 3h 对照组 PT、TT、APTT、LAC 水平均显著低于实验组，FIB 显著高于实验组（$P<0.05$），详见表 2。

表 2　海水浸泡前后动物凝血功能及乳酸动态变化（$\bar{x}\pm s$）

项目	组别	n	浸泡前	浸泡后时间（h）		
				1	2	3
PT（s）	实验组	5	6.33 ± 1.17	6.36 ± 1.43	6.53 ± 1.14	7.91 ± 1.21*
	对照组	5	6.26 ± 1.57	6.38 ± 1.31	7.70 ± 1.46$^{\#}$	10.00 ± 1.56$^{\#}$
TT（s）	实验组	5	16.63 ± 3.93	16.84 ± 2.66	17.70 ± 3.60	18.43 ± 3.51$^{*\#}$
	对照组	5	16.90 ± 4.15	1728.00 ± 3.41	18.86 ± 3.97	26.02 ± 6.19$^{\#}$
APTT（s）	实验组	5	12.35 ± 3.13	12.50 ± 2.53	12.68 ± 2.81	12.93 ± 3.05*
	对照组	5	12.14 ± 2.74	12.81 ± 2.60	14.84 ± 3.49$^{\#}$	17.35 ± 3.54$^{\#}$
FIB（g/L）	实验组	5	5.72 ± 1.51	5.56 ± 0.94	5.40 ± 0.84	5.16 ± 0.81*
	对照组	5	5.81 ± 1.65	5.53 ± 1.40	4.65 ± 0.94	3.83 ± 0.79$^{\#}$
LAC（mmol/L）	实验组	5	4.18 ± 0.98	4.38 ± 0.90	4.63 ± 1.81	4.72 ± 0.82$^{*\#}$
	对照组	5	3.81 ± 1.49	4.26 ± 0.80	5.12 ± 1.04$^{\#}$	6.34 ± 0.91$^{\#}$

与对照组比较，$^{*}P<0.05$；与浸泡前比较，$^{\#}P<0.05$

4. 组织学检查：对照组动物动物死亡时，肝脏组织均出现轻度慢性炎性反应，肝细胞轻中度水肿，大量炎性反应细胞浸润（图 1A），而实验组动物肝脏组织大致正常，仅可见个别炎性反应细胞浸润（图 1B）；对照组动物心肌组织血管周围有中量炎性反应细胞浸润，可见小灶红色样变（图 1D），而实验组动物心肌细胞脏组织大致正常，仅可见个别炎性反应细胞浸润（图 1C）；对照组动物肺脏组织肺泡结构消失，中量炎性细胞浸润，纤维组织增生（图 1E），而实验组动物肺组织大致正常，仅可见个别炎性细胞浸润（图 1F）；对照组动物腹直肌组织有中量炎性细胞浸润，而实验组动物腹直肌组织大致正常，仅可见个别炎性细胞浸润；两组动物的脾脏及肾脏组织均大致正常，未见明显炎性细胞浸润。

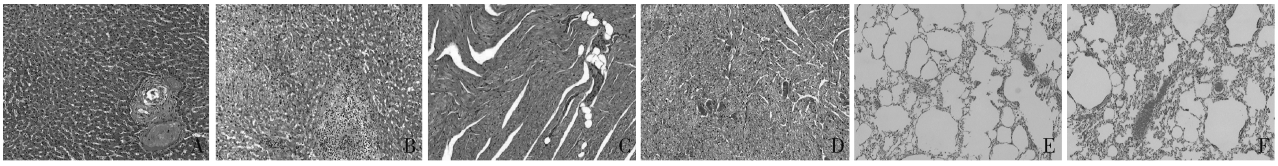


图 1　组织学检查（HE 染色）

A. 实验组肝脏组织（×100）；B. 对照组肝脏组织（×100）；C. 实验组心肌组织（×100）；D. 对照组心肌组织（×100）；E. 实验组肺组织（×40）；F. 对照组肺组织（×40）

讨　　论

在低温海水等特殊环境下，由于人体耐受限度显著下降，其黄金救援时间较之在地面上明显缩短。经查阅文献发现，国内外针对低体温发生后的相关治疗研究较多，而在预防落水人员低体温发生领域，尤其在水中保温方面的研究较少[12, 13]。国外少量研究发现有效的隔热材料对于减缓中心体温下降、提高生存时间具有重要意义，并对保温防护服的研发积累了一定经验[14, 15]。而国内相关报道极少。目前一般救生衣只有防水功能，仅少数兼顾保温作用，且在防止体温下降方面的作用非常有限。而目前具有保温功能的救生服多为全身穿戴式，需落水前穿戴，难以实现落水后的紧急救助，且具有造价昂贵、穿戴耗时、穿戴不方便（尤其在落水后）、穿戴后行动不方便等缺点。因此，本实验对一款新型的保温救生衣进行了研究。

本实验研究设计的新型保温救生衣具有良好的保温效果，可实现落水后的紧急救助。该保温救生衣重量轻，可实现一分钟内单人自行穿戴，且充气过程简单方便。穿戴后舒适度良好，行动灵活，且造价便宜。由于各充气气囊之间的连接处单向阀的存在，即使部分充气气囊损坏，也不影响其他气囊的使用性

能。该保温救生衣发热原理是在无机盐的催化下,铁粉与氧气发生反应产生氧化铁而释放热量。因此通过控制氧气的量,可以调节发热温度和持续时间。活性炭则是吸附住空气中的水分,兼有导热功能,使热量传递更均匀。保温救生衣通过氧化放热反应产热,经热辐射热作用和和热传导直接将热量传递志落水者的体表,提升外周其皮肤温度,减少机体内部向外周传输热量以及隔除体表热量向周围环境的扩散,可以对落水者起到很好的保温作用。

经过两组的对照分析,采用了保温救生衣的实验组有更加显著的保温效果,其生命征、凝血功能、乳酸、炎性反应病理指标明显优于普通救生衣的对照组,对生命状态的维持有积极的意义。凝血功能障碍主要表现在 PT、APTT、TT 明显延长, FIB 明显减少。可能由于低体温抑制凝血因子的活性,导致 PT、APTT 延长;而纤维蛋白的形成造成可溶性的纤维蛋白原减少,其降解产物可抑制凝血酶致使 TT 延长,引起凝血功能障碍[16~19]。低体温可促进肥大细胞对肝素样物质的释放,致使 TT 延长,严重则可导致 DIC 的发生。实验结果提示低体温致使乳酸明显增加,表明有代谢性酸中毒发生的可能。低体温会导致机体发生寒战,氧耗增加,且减少心排出量,出现缺氧状态,导致组织细胞能量代谢过程受阻,能量生成减少,乳酸产生增多,导致代谢性酸中毒的发生。实验的病理结果提示了低温海水浸泡下致使机体发生多器官炎症改变。低温环境及海水高渗、高碱、多菌的理化因素可引起血流动力学紊乱,损害机体细胞,降低或失活细胞膜表面酶的活性,导致大量金属离子和水进入细胞内,进而引起细胞肿胀,甚至溶解坏死,引发机体过度炎性反应, 使组织产生过量损伤性炎性反应介质, 引发机体过度炎性反应。

综上所述,保温救生衣能有效改善落水者的低体温现象,从而改善凝血机制,减轻了代谢性酸中毒发生,减轻了多器官的炎性反应,延缓了并发症的发生,提高了生存率,对后期治疗和预后具有重要作用,值得推广应用。

参考文献

1 Götberg M, van der Pals J, Olivecrona GK, *et al*. Mild hypothermia reduces acute mortality and improves hemodynamic outcome in a cardiogenic shock pig model [J]. Resuscitation, 2010, 81(9): 1190 – 1196

2 龚剑峰,朱维铭. 低温酸中毒与凝血机制障碍[J]. 中国实用外科杂志, 2010, 30(2):96 – 98

3 Endo A, Shiraishi A, Otomo Y, *et al*. Development of novel criteria of the "lethal triad" as an indicator of decision making in current Trauma Care: A Retrospective Multicenter Observational Study in Japan [J]. Crit Care Med, 2016, 44(9): e797 – 803

4 Sherren PB, Hussey J, Martin R, *et al*. Lethal triad in severe burns [J]. Burns, 2014, 40 (8): 1492 – 1496

5 González Balverde M, Ramírez Lizardo EJ, Cardona Muñoz EG, *et al*. Prognostic value of the lethal triad among patients with multiple trauma [J]. Rev Med Chil, 2013, 141(11): 1420 – 1426

6 Beilman GJ, Blondet JJ, Nelson TR, *et al*. Early hypothermia in severelyinjured trauma patients is a significant risk factor for multiple organ dysfunctionsyndrome but not mortality [J]. Ann Surg, 2009, 249 (5): 845 – 850

7 Soreide K. Clinical and translational aspects of hypothermia in major trauma patients: from pathophysiology to prevention, prognosis and potential preservation [J]. Injury, 2014, 45(4): 647 – 654

8 Sundberg J, Estrada C, Jenkins C, *et al*. Hypothermia is associated with poor outcome in pediatric trauma patients [J]. Am J Emerg Med, 2011, 29(9): 1019 – 1022

9 刘正欢, 霍正禄. 创伤失血性休克控制性低温的研究进展[J]. 中国急救医学, 2013, 33(6): 557 – 559

10 Jin H, Hou LJ, Fu XB. Medical rescue of naval combat: challenges and future [J]. Mil Med Res, 2015, 2(2): 21

11 Butler FK Jr, Blackbourne LH. Battlefield trauma care then and now: a decade of tactical combat casualty care [J]. J Trauma Acute Care Surg, 2012, 73(Suppl 5): S395 – S402

12 Khan MA, Frankel HL. Trauma team dynamics [M]. Germany: Springer International Publishing, 2016: 237 – 241

13 Oyvind T, Hilde F, Oyvind O, *et al*. Comparison of three different prehospital wrapping methods for preventing hypothermia – a crossover study in humans [J]. Scand J Trauma Resusc Emerg Med, 2011, 19 (1): 41

14 Power J, Simões Ré A, Barwood M, *et al*. Reduction in predicted survival times in cold water due to wind and waves [J]. Appl Ergon, 2015, 49: 18 – 24

15 Tarlochan F, Ramesh S. Heat transfer model for predicting survival time in cold water immersion [J]. Biomed Eng Appl Basis Comm, 2005, 17(4): 159 – 166

16 杨细平, 涂悦, 孙洪涛, 等. 亚低温对重型颅脑创伤合并急性创伤性凝血病影响的临床研究 [J]. 中华神经外科杂志, 2013, 29 (2): 142 – 145

17 Mitrophanov AY, Rosendaal FR, Reifman J. Computational analysis of the effects of reduced temperature on thrombin generation: the contributions of hypothermia to coagulopathy[J]. Anesth Analg, 2013, 117(3): 565 – 574

18 蔺建华, 王纪明, 许会玲, 等. 不同术中保温对胃肠术患者体温与凝血功能及手术部位感染的影响 [J]. 中华医院感染学杂志, 2016, 26(18): 4176 – 4178

19 Zentai C, Braunschweig T, Rossaint R, *et al*. Fibrin patch in a pig model with blunt liver injury under severe hypothermia [J]. J Surg Res, 2014, 187(2): 616 – 624

(收稿日期:2018 – 01 – 11)
(修回日期:2018 – 01 – 30)