

## • 发明与专利 •

## 一种基于相变材料的热射病降温组件的设计与应用

张玉想<sup>1</sup> 刘洋<sup>2</sup><sup>1</sup> 解放军总医院第八医学中心重症医学科, 北京 100091; <sup>2</sup> 北京卫星环境工程研究所, 北京 100094

通信作者: 张玉想, Email: 15810550308@163.com

**【摘要】** 热射病是一种由热刺激引起、发展快速、对机体健康产生严重危害的危重疾病,可引起多器官功能受损,病死率较高。此外,约 30% 的幸存者会遗留不同系统的后遗症,如神经系统。目前早期迅速降温为热射病治疗的核心。因此,解放军总医院第八医学中心重症医学科的医护人员与工程师合作,针对野外以及院内救治的特点,研发了一种热射病降温组件,以实现在野外和院内早期迅速降温及有效的目标温度管理(TTM)。降温组件由降温毯、降温帽两大部分组成,二者均由温变面料制成。降温毯包括背衬层、缓冲层、柔性导热囊体、温变组件、固定部件、温度传感器。降温帽包括主体及侧耳,其中主体佩戴于患者头顶,正面装有柔性显示屏,便于实时监测降温毯温变组件的温度;侧耳可包裹患者双耳及颈部,设计有鼓膜测温计可对鼓膜温度实时监控以指导降温治疗的时程、及时停止降温。该降温组件具有携带和操作方便、实时监测温度、降温效果确切、可重复使用的特点,用于热射病患者的现场急救、转运、病房内持续降温。

**【关键词】** 热射病; 相变材料; 降温组件; 设计; 应用**基金项目:** 军事医学创新工程项目(18CXZ023, 18CXZ033); 实用新型发明专利(ZL 2020 2 1627190.7)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20210330-00461

**Design and application of a cooling device based on the phase-change material for heat stroke**Zhang Yuxiang<sup>1</sup>, Liu Yang<sup>2</sup><sup>1</sup>Department of Critical Care Medicine, the Eighth Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100091, China; <sup>2</sup>Beijing Institute of Satellite Environmental Engineering, Beijing 100094, China

Corresponding author: Zhang Yuxiang, Email: 15810550308@163.com

**【Abstract】** Heat stroke is a critical and health-threatening disease, triggered by thermal stimulus and progressing rapidly. It can give rise to multiple organ dysfunction syndrome (MODS), resulting in a high mortality rate. Nearly 30% of survivors will suffer with different sequelae, for instance, the neurological sequelae. Currently, the early rapid cooling is the focus of therapy for heat stroke. Therefore, it is imperative to design a cooling module suitable for the treatment of heat stroke in the field and in the hospital to realize the goal of early rapid cooling and the effective targeted temperature management (TTM). The cooling device is composed of a cooling blanket and a cooling cap. The blanket and cap are made by temperature changeable fabric. The cooling blanket comprises a backing layer, a buffer layer, a flexible heat conduction capsule body, a temperature changing component, a fixed part and a temperature sensor. The cooling cap includes a main body and two side ears, in which the main body is worn on the top of the patient's head, and the front is equipped with a flexible display screen, which is convenient for real-time monitoring the temperature of the temperature change component of the cooling blanket. The lateral ear can wrap the patient's ears and neck, and the tympanic membrane thermometer is designed to monitor the tympanic membrane temperature in real time. The tympanic membrane thermometer is also designed at the ear to monitor the tympanic auditory canal temperatures in real time. Continuous dynamic temperature monitoring can guide the duration of cooling treatment and stop cooling in time. The cooling component is portable, easy to operate, real-time temperature monitoring, excellent cooling effect and reusable. It is used for on-site first aid, transportation and continuous cooling for patients with heat stroke in the ward.

**【Key words】** Heat stroke; Phase change materials; Cooling device; Design; Application**Fund program:** Military Medical Innovation Engineering Project (18CXZ023, 18CXZ033); National Utility Model Patent of China (ZL 2020 2 1627190.7)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20210330-00461

热射病是指在湿热环境条件下及剧烈运动的强刺激下所造成的产热与散热平衡失调,表现为肛温等核心体温超过 40℃ 以及出现嗜睡或昏迷等中枢神经异常反应,危重者可致全身多个器官受损甚至死亡<sup>[1]</sup>。如果患者得不到及时有效的救治,病死率高达 20%~70%,即使积极治疗,30% 的存活者仍会遗留不同系统后遗症。热射病有两种分型,即经典型热射病(classical heat stroke, CHS)和劳力型热射

病(exertional heat stroke, EHS)<sup>[2]</sup>。CHS 主要受环境中高热因素影响导致体温调节失衡而致病;EHS 则与高强度运动有关,导致机体产热与散热不等而发病。紧急的救治策略是迅速脱离热环境并且给予持续降温,现场急救的降温措施包括:蒸发降温、冷水浸泡、冰敷降温、体内降温<sup>[3-5]</sup>;ICU 内有效的降温手段包括:控温毯、血管内热交换降温、药物降温、连续性血液净化(continuous blood purification, CBP)治

疗等<sup>[6-12]</sup>。冰块降温是目前常采用的降温方法,但因其为块状固体,无法与皮肤实现大面积完美贴合,此外长时间使用也会因温度过低,造成皮肤过冷,不适感加剧,甚至可出现低温冻伤。目前的研究显示,降温毯的降温效果良好,它通过冷凝水循环实现在患者体表传导散热的作用,可达到有效降温目的,但缺点在于降温毯需搭配降温机使用,因此受设备的限制,不便于在热射病患者转运途中使用<sup>[13]</sup>。血管内热交换降温、CBP 治疗价格昂贵,需要很高的专业技术,不易普及和现场早期应用,可能会贻误治疗时机<sup>[7-8]</sup>。

另一方面,在热射病的治疗过程中,体温的精准管控也极为重要,要求整个治疗期间持续实施目标温度管理(targeted temperature management, TTM),能及时启动、早期快速降温以及停止降温。Nakada 等<sup>[14]</sup>研发了一种操作简单的测量外耳道温度的便携式设备,只需将耳塞插入外耳道即可。耳塞内含温度传感器,此传感器可将所测得的温度数据传输出来,传输距离超过 150 m。将此设备所测外耳道温度带入公式估算核心体温即食道温度,在 24~40℃的测量范围内,可准确估计无风环境下被测者的食道温度,利于长期持续监测热射病患者的核心体温并指导降温治疗。

我们在上述设想基础上,特设计一种基于相变材料的降温组件,能对早期热射病患者进行持续有效降温,同时监测鼓膜温度,通过 TTM 实现早期安全降温,为后续抢救争取宝贵时间,有效降低并发症的发生率。该组件采用柔性材料制成,能很好地与患者身躯贴合,起到良好均匀的降温效果,并可避免长期使用造成局部冻伤等“二次伤害”,且所使用的相变材料大大延长了使用时间,避免多次更换而增加医务工作者的负担,具有重复利用性特点,可降低使用成本,并已申请实用新型发明专利(专利号 ZL 2020 2 1627190.7)。现将该降温组件的结构、功能和用法报告如下。

## 1 降温组件的组成和功能<sup>[15]</sup>

图 1 所示,降温组件的结构由降温毯和降温帽组成。

### 1.1 降温毯组件的组成和功能:

该降温组件的降温毯是温变面料制成的毯子状结构,降温帽是温变面料制成的帽子状结构。降温毯包括背衬层(图 1-1)、缓冲层(图 1-2)、柔性导热囊体(图 1-3)、温变组件(图 1-4)、固定部件(图 1-5)、温度传感器(图 1-6)。

由亲和人体皮肤的面料所制成的背衬层具有减轻降温

毯及降温帽使用时不适感的优点。此外该面料还有吸附少量水分的特性,可吸收患者分泌的汗水,从而使皮肤保持清爽,增加舒适度。

缓冲层由金属和缓冲材料混编而成,金属可起到良好的热传导效果,缓冲材料则起到部分减震的作用;柔性导热囊体为扁平囊状,具有柔韧性好、承压能力强的特点。

温变组件由超多孔水凝胶吸附相变材料制成,超多孔水凝胶吸收相变材料后,其内部高分子链会扩展并获得一定的弹性及柔韧性,使内部网格结构膨胀,上述相变储能体便填充吸附在超多孔水凝胶的内部网格中。

相变材料采用相变温度为 13~15℃的辛酸作为储能材料,可避免长时间使用对患者身体造成局部冻伤。

降温毯的两端设置 4 对用魔术贴或皮带扣组成的固定部件,有良好的固定作用。

### 1.2 降温帽组件的组成和功能:

降温帽包括佩戴于头顶的主体(图 1-7)和包裹患者耳朵及颈部的侧耳(图 1-8)。

在主体的正面设有柔性显示器(图 1-9),显示器与温度传感器实现通讯连接以显示感应的温度,由此实时监测降温毯中温变组件的温度,当温度达到预设限值时,显示器上所显示的数值将会持续闪烁以提示医护人员及时更换降温毯或降温组件。

侧耳还设计有与耳孔正对的鼓膜测温计(图 1-10),以测量患者鼓膜的温度。该鼓膜测温计与显示器通讯连接,这样显示器就可以实时显示鼓膜测温计所测的数值,便于医护人员实时监控患者鼓膜温度。

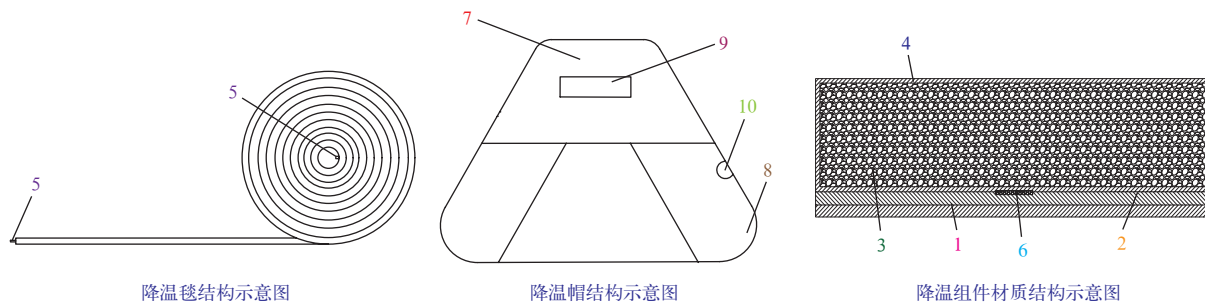
## 2 降温组件的使用

降温组件平时应在低于 15℃的环境中进行冷量储存,使用时将降温毯和降温帽一起取出。首先为患者佩戴降温帽,监测患者的鼓膜温度,了解其体温状况。接着再去除患者外衣,使其平躺于降温毯上,将固定部件互相连接,使患者躯干部被包裹起来,同时进行必要的监护与治疗,如血压监测、静脉补液等。需要转运时连同降温组件一起救援转运,转运过程中观察显示屏所显示的患者鼓膜温度和降温毯温度,判断是否需要更换降温组件。

## 3 优点

### 3.1 操作简单,方便患者的固定和转运,

可以同时利用相变材料的潜热和显热进行降温,延长使用时间。



注:1 为背衬层,2 为缓冲层,3 为柔性导热囊体,4 为温变组件,5 为固定部件,6 为温度传感器,7 为主体,8 为侧耳,9 为显示器,10 为鼓膜测温计

图 1 一种基于相变材料热射病降温组件的结构组成

**3.2** 相变材料采用相变温度为 13~15℃ 的辛酸作为储能材料,从而在长时间使用时不会对患者造成局部冻伤。

**3.3** 采用分体式设计,可满足头部、颈部的降温。患者头部可活动,便于偏向一侧,以避免呕吐时患者误吸的可能性<sup>[15]</sup>。

**3.4** 采用背衬层、缓冲层、柔性导热囊体、弹性超多孔水凝胶等舒适减震材料,避免运送患者时因搬动或颠簸造成的“二次伤害”<sup>[15]</sup>。

**3.5** 显示器可以实时显示降温组件温度并具有提示更换功能,同时持续显示鼓膜温度,指导降温治疗的时程,及时停止降温。

#### 4 结 论

热射病治疗中的重中之重是早期积极降温,阻断高温这一打击对机体各器官的直接热损害。现阶段除了传统冰袋降温等方法外,新发展了如降温毯、CBP 及血管内降温系统等方法。本专利设计的降温组件在启动降温的同时,可持续动态监测鼓膜温度,能对热射病患者精准实施 TTM。且该降温组件具有携带、操作方便,实时温度监测、降温效果确切,可重复使用的特点,可用于重症热射病患者的现场急救、转运、病房内持续降温等,值得在临床推广使用。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] 全军热射病防治专家组, 全军重症医学专业委员会. 中国热射病诊断与治疗专家共识 [J]. 解放军医学杂志, 2019, 44 (3): 181-196. DOI: 10.11855/j.issn.0577-7402.2019.03.01.
- [2] Gaudio FG, Grissom CK. Cooling methods in heat stroke [J]. J Emerg Med, 2016, 50 (4): 607-616. DOI: 10.1016/j.jemermed.2015.09.014.
- [3] Nye EA, Edler JR, Eberman LE, et al. Optimizing cold-water immersion for exercise-induced hyperthermia: an evidence-based paper [J]. J Athl Train, 2016, 51 (6): 500-501. DOI: 10.4085/1062-6050-51.9.04.
- [4] Truxton TT, Miller KC. Can temperate-water immersion effectively reduce rectal temperature in exertional heat stroke? A critically appraised topic [J]. J Sport Rehabil, 2017, 26 (5): 447-451. DOI: 10.1123/jsr.2015-0200.
- [5] 王洪萍, 陈玮, 李淑萍, 等. 劳力性热射病的快速识别与降温治疗进展 [J]. 中华危重病急救医学, 2018, 30 (10): 1006-1010. DOI: 10.3760/ema.j.issn.2095-4352.2018.10.021.
- [6] Stanger D, Mihajlovic V, Singer J, et al. Editor's choice-effects of targeted temperature management on mortality and neurological outcome: a systematic review and meta-analysis [J]. Eur Heart J Acute Cardiovasc Care, 2018, 7 (5): 467-477. DOI: 10.1177/2048872617744353.
- [7] Yokohori S, Koido Y, Shishido H, et al. Feasibility and safety of intravascular temperature management for severe heat stroke: a prospective multicenter pilot study [J]. Crit Care Med, 2018, 46 (7): e670-e676. DOI: 10.1097/CCM.0000000000003153.
- [8] Hifumi T, Kondo Y, Shimizu K, et al. Heat stroke [J]. J Intensive Care, 2018, 6: 30. DOI: 10.1186/s40560-018-0298-4.
- [9] Chen GM, Chen YH, Zhang W, et al. Therapy of severe heatstroke in combination with multiple organ dysfunction with continuous renal replacement therapy: a clinical study [J]. Medicine (Baltimore), 2015, 94 (31): e1212. DOI: 10.1097/MD.0000000000001212.
- [10] Zhou FH, Song Q, Peng ZY, et al. Effects of continuous venous-venous hemofiltration on heat stroke patients: a retrospective study [J]. J Trauma, 2011, 71 (6): 1562-1568. DOI: 10.1097/TA.0b013e31822a71c2.
- [11] 龚正, 张凌云, 王永全, 等. 连续性血液净化治疗重度中暑患者的临床研究 [J]. 内科急危重症杂志, 2017, 23 (5): 398-399, 402. DOI: 10.11768/nkjwzzz20170514.
- [12] 康春华. 冰毯机用于重度中暑患者降温效果观察 [J]. 实用临床医学, 2011, 12 (9): 117-118. DOI: 10.3969/j.issn.1009-8194.2011.09.056.
- [13] 王娇, 张玉想. 军事训练中劳力性热射病批量伤患者的救治体会 [J]. 中华危重病急救医学, 2020, 32 (12): 1522-1525. DOI: 10.3760/ema.j.cn121430-20200303-00236.
- [14] Nakada H, Horie S, Kawanami S, et al. Development of a method for estimating oesophageal temperature by multi-local temperature measurement inside the external auditory canal [J]. Int J Biometeorol, 2017, 61 (9): 1545-1554. DOI: 10.1007/s00484-017-1333-1.
- [15] 中国人民解放军第八医学中心. 一种基于相变材料的降温组件: 中国, ZL 2020 2 1627190.7 [P]. 2021-01-05. (收稿日期: 2021-03-30)

## • 科研新闻速递 •

### 不同感染部位来源的脓毒症患者的宿主反应差异： 一项前瞻性队列研究

目前我们关于不同部位的感染源是如何影响宿主对脓毒症的反应的知识还十分有限。为此,有学者进行了相关研究,旨在比较不同感染来源的脓毒症患者 (<24 h) 的宿主反应差异。该研究是一个前瞻性队列研究,研究人员对 621 名脓毒症患者的 16 种血浆宿主反应生物标志物进行了检测,这些标志物反映了关键宿主反应途径。研究人员还在一个亚组 ( $n=335$ ) 中比较了不同感染源之间的血液白细胞转录组的变化。研究人员还比较了整个脓毒症队列 ( $n=2019$ ) 患者的生存率差异。结果: 血浆生物标志物队列感染源包括呼吸道 ( $n=334$ , 53.8%)、腹部 ( $n=159$ , 25.6%)、泌尿道 ( $n=44$ , 7.1%)、心血管 ( $n=41$ , 6.6%)、中枢神经系统 (CNS;  $n=18$ , 2.9%) 或皮肤 ( $n=25$ , 4%)。相对于呼吸系统,腹部脓毒症患者会出现更强的炎症和细胞因子反应、血管完整性丧失和凝血激活。内皮细胞活化在泌尿道、心血管和皮肤感染中最为突出,而中枢神经系统感染患者的宿主异常反应最小。白细胞转录组反应显示腹部和肺部感染之间的相似度最高 (相似度为 76%)。不同感染源之间的白细胞转录组差异主要存在于止血、细胞因子信号、先天性和适应性免疫以及代谢转录途径方面。在调整混杂因素后,不同部位的感染源仍然是患者 30 d 病死率的独立因素 (未调整的  $P=0.001$ , 调整后的  $P=0.028$ )。研究人员据此得出结论: 脓毒症患者产生异质性的部分原因可能是由于感染源的不同。

罗红敏, 编译自《Intensive Care Med》, 2022, 48: 92-102