



**[专家简介]** 李晓雪, 解放军总医院医学创新研究部某中心主任, 主要从事战时卫勤政策和应急医学装备技术研究。灾害救援医学北京市重点实验室副主任、中华医学会灾害医学分会青委会副主委、《中华灾害救援医学》杂志主编、《医学新知》杂志副主编, 入选全军创新人才工程青年英才; 获国家科技进步一等奖1项、二等奖2项, 科技部优秀科普作品奖和科普作家协会金奖各1项, 主持国家重点研发计划2项, 获得国家发明专利9项, 发表论文30余篇, 6份技术建议或研究报告被国家部委采纳。作为骨干多次参与重要卫勤保障任务, 荣立二等功1次、三等功2次, 第二届国家创新争先奖团队骨干成员。

## 灾害救援医学装备发展现状及展望

王彬华<sup>1,2</sup>, 李晓雪<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>解放军总医院医学创新研究部, 北京 100853; <sup>2</sup>灾害救援医学北京市重点实验室, 北京 100039

**摘要:** 灾害救援医学装备是在重大灾害事故现场实现伤员快速搜救、精准治疗和高效转运的关键手段之一。随着智能传感、自主导航和物联网等技术的发展, 便携化、集成化、智能化成为灾害救援医学装备未来的发展方向。如何在极端复杂恶劣的救援现场发挥救援装备的最大性能, 实现人、装备与环境的无缝信息共享和深度交互融合, 从而最大程度救治伤员, 是灾害救援医学的重要课题。本文从灾害救援医学装备的发展现状、关键技术、存在问题等方面进行论述, 阐述了灾害救援医学装备的未来发展方向和发展建议。

**关键词:** 灾害; 装备; 生命支持; 机器人; 一体化设计

中图分类号: R821

文献标志码: A

文章编号: 2095-5227(2025)01-0043-07

DOI: 10.12435/j.issn.2095-5227.24071801

引用本文: 王彬华, 李晓雪. 灾害救援医学装备发展现状及展望 [J]. 解放军医学院学报, 2025, 46 (1): 43-49.

## Development and prospects of medical equipment for disaster rescue

WANG Binhua<sup>1,2</sup>, LI Xiaoxue<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Medical Innovation Research Department of PLA General Hospital, Beijing 100853, China; <sup>2</sup>Beijing Key Laboratory of Disaster Rescue Medicine, Beijing 100039, China

Corresponding author: LI Xiaoxue. Email: lixiaoxue@301hospital.com.cn

**Abstract:** Medical equipment for disaster rescue is one of the key solutions to achieve rapid search and rescue, precise treatment, and efficient transportation of the injured at the spot of a major disaster. Development of technologies such as intelligent sensing, autonomous navigation, and the Internet of Things provide medical equipment for disaster rescue with future development directions, i.e., portability, integration, and intelligence. A critical issue in disaster rescue medicine is maximizing the performance of medical equipment in extremely complex and harsh rescue environments. This involves achieving seamless information sharing and deep interactive integration among personnel, equipment, and the surrounding environment, ultimately aiming to rescue the injured and save lives to the greatest extent possible. Accordingly, the development status, key technologies, and existing problems of medical equipment for disaster rescue are discussed in this study, and the future development direction and suggestions on medical equipment for disaster rescue are further elaborated.

**Keywords:** disaster; equipment; life support; robot; integrated design

**Cited as:** Wang BH, Li XX. Development and prospects of medical equipment for disaster rescue [J]. Acad J Chin PLA Med Sch, 2025, 46(1): 43-49.

收稿日期: 2024-07-18

基金项目: 国家重点研发计划课题(2023YFC3011902)

第一作者: 王彬华, 博士, 高级工程师。Email: 7539wbhwbh@163.com

通信作者: 李晓雪, 博士, 副主任医师, 副教授。Email: lixiaoxue@301hospital.com.cn

我国是世界上自然灾害、事故灾难、公共卫生等各类突发事件频发并且受灾较为严重的国家之一。突发事件的破坏力及防控难度不断加大, 对人员安全和社会经济造成严重的威胁。从应急

管理部发布的2023年我国自然灾害基本情况看,全年各种自然灾害共造成9 544.4万人次不同程度受灾,因灾死亡失踪691人,直接经济损失3 454.5亿元,同比上升12.6%<sup>[1]</sup>。因此,探索减少灾难损失、保障人民生命财产安全的途径,实施科学有效的救援已成为重要课题。

灾害救援医学装备作为应急力量体系的重要组成部分,是提升抢险救灾能力的重要保障。然而,我国救援医学装备产业起步较晚,现阶段救援装备发展不完善,特别是缺少高机动、多功能、智能化的灾害救援医学装备,这直接影响了我国灾害救援的能力和效率<sup>[2-3]</sup>。本文从灾害救援医学装备的发展现状、关键技术、我国灾害救援医学装备存在的问题等方面进行论述,总结了灾害救援医学装备的发展趋势和发展建议。

## 1 灾害救援医学装备的发展现状

早期的灾害救援装备以手动式的破拆、搬运装备为主,难以满足重大灾害事故现场危重伤员医学救治的需求。大量被困人员因缺乏有效的医学救援装备得不到及时救治而发生感染、多器官衰竭甚至死亡。院内的监护、麻醉和手术设备由于体积重量大,或不具备狭小空间、高原、高湿和高热等极端恶劣环境应用的条件,无法到达灾害事故现场开展医学救援工作。进入21世纪以来,世界各国加大了在灾害救援医学装备的研发技术体系布局。根据救援链路和用途的不同,灾害救援医学装备可分为搜救装备、生命支持装备、应急手术装备、转运装备和医技保障装备。通过不同救援装备的协调配合,最终可实现伴随救援<sup>[4]</sup>。

### 1.1 搜救装备

伤员致伤、致死率与伤员搜救时间关系密切。美国空军要求从飞机失事到对伤员急救并后送须在30 min内完成,其研发的“寻血猎犬”医疗机器人,能够找到受伤士兵,对其进行生命体征检查并为其注射吗啡<sup>[5]</sup>。另外,美军建有无人机和地面人员配合下的伤员搜救装备体系。以色列研发的坦克战场救护机器人,能够穿越复杂地形、规避危险障碍物,实现伤员的精准搜救<sup>[6]</sup>。中国地震局搜救中心与中国科学院沈阳自动化研究所于2011年联合研制的我国第一架旋翼空中搜索机器人,配置两自由度稳相跟踪云台及视觉、红外摄像系统,可自主起降、超视距自主航迹跟踪飞

行<sup>[7]</sup>。无人智能化搜救装备的加入,有效降低了救援现场伤员搜救工作的人力投入,提升了伤员搜救效率。目前主流的灾难救援现场搜救装备主要有音频生命探测仪、红外生命探测仪、雷达生命探测仪等<sup>[8-10]</sup>。雷达生命探测仪能够穿透一定厚度的土壤、岩石、混凝土等非金属介质以及烟气、水雾等障碍,通过探测被埋者的心跳、呼吸、体动等生命特征,确定被埋者的位置,具有不受环境温度、热物体和声音干扰抗干扰能力强的特点,在生命探测应用方面具有不可替代的优势。

### 1.2 生命支持装备

德国MS Westfalia的Jenny一体机为模块化重症多合一解决方案,具备机械通气、生命体征监测、除颤等功能,采用插接式模块化设计,通过中央控制系统为重症监护功能提供一级用户界面,使用便捷。Jenny内置移动通信模块、蓝牙模块、UMTS模块和WiFi模块,可以在现场与医院专家进行视频会议,提供远程辅助决策,但无法满足航空医学救援的需求<sup>[11]</sup>。加拿大MOVES® SLC™系统,采用一体化设计,由制氧、机械通气、吸引、患者生命体征检测和电源这5个模块组成,可提供高达87%浓度的氧气,但产品质量和尺寸较大<sup>[12]</sup>。德国维曼的LIFE-BASE便携生命支持系统的呼吸机、监护/除颤仪、吸引器等都采用单独主机设计,可以通过组合安装到一个便携式支架上,每个设备的操作都是独立的,互相之间没有耦合,无法进行信息融合<sup>[13]</sup>。国内的生命支持装备大多停留在科研阶段,解放军总医院医学创新研究部研制的高级生命支持一体机是国内首台(套)取得适航认证的完全具备自主知识产权的高级生命支持系统,具有生命体征监护、除颤、机械通气、负压吸引、超声诊断、智能报警、伤情识别等功能,整机质量仅为9.8 kg<sup>[14]</sup>。为满足立体救援的需求,世界各国在大力研发便携式、模块化、一体化的生命支持一体机的同时,仍在积极研发能够应用于直升机、卫生列车和医疗船的新一代生命支持装备。

### 1.3 应急手术装备

麻醉设备是在灾害事故现场实施应急手术的关键装备之一,国际上目前仅有德国德尔格公司的Fabius TiroM轻量型麻醉一体机面向市场。Fabius TiroM麻醉一体机重量轻,具备涡轮供气功能,并支持容量控制和压力控制两种通气模式。此外,设备自带电池供电,可以在高海拔和复杂

环境中进行应急医学救援<sup>[15]</sup>。然而, Fabius TiroM 麻醉机不具备低耗氧、长续航和麻醉深度智能评估的能力。目前, 国内无此类可在重大灾害事故现场开展紧急救治的麻醉监护高级生命支持一体机, 现有应急救援设备以功能单一的急救转运呼吸机和便携式麻醉机为主, 在面对复杂的灾害场景时, 难以提供全面而高效的医疗支持。国产谊安小型麻醉机尺寸小巧, 裸机仅 30 kg, 总重量仅 51 kg, 便于在灾害救援工作中携带, 但其电池续航时间仅为 180 min, 依赖外部气源且仅具有吸入式麻醉功能, 不具备静吸复合麻醉功能和生命体征监护功能, 缺少更宽泛的适用人群和先进的通气模式<sup>[16]</sup>。因此, 研发长续航、低氧耗、自驱动通气的轻量化麻醉监护高级生命支持一体机是损伤控制手术在灾害事故现场顺利实施的有力保障。气管切开包、除颤仪、床旁血滤机、血液回收机、体外膜肺氧合 (extracorporeal membrane oxygenation, ECMO) 等开颅、开胸、开腹及骨科专科手术器械也是灾害事故现场开展应急手术的必备装备<sup>[17-19]</sup>。体外膜肺氧合是救治灾害事故现场严重呼吸和(或)循环功能衰竭伤员的体外生命支持方法, 其可以有效降低烧伤、创伤、爆炸伤、意外低体温症等危重患者死亡率<sup>[20-21]</sup>。同时随着大模型和人工智能技术的发展, 世界各国正在加大应急手术机器人的研发力度, 通过便携智能化机器人的应用, 达到有效降低灾难现场危重伤员死亡率和致残率的目的<sup>[22-23]</sup>。

#### 1.4 转运装备

美军建有体系完善的海陆空立体转运装备, 美军“仁慈号”医院船于 1986 年服役, 是由超级油轮改装的医院船, 最上层为直升机起降平台, 中部主甲板为检伤分类、急救区、放射检查、血库、手术室、术后麻醉恢复室、重症监护病房等医务保障区域。美军批量伤病员的空运后送通常使用 C-130 大力神或 C-17 环球霸王等大型飞机, C-17 可以安排同时运送 36 副担架伤员和其他 54 名可坐立的伤病员<sup>[24]</sup>。随着人工智能技术的发展, 美德等国家陆续研发了多款用于伤员转运的轮式移动机器人。通用动力公司生产的多用途战术运输车采用 8×8 全地形轮式底盘和油电混合动力驱动, 可同时运送 2 名卧位伤员, 该车具有结构简单、小巧灵活、承载较大等优点<sup>[6]</sup>。目前, 我国也逐步构建了立体的伤员后送转运装备。2012 年 11 月, 原第三军医大学新桥医院孙

汉军等研制的卫生列车通过技术审查, 标志着我国具有在运行的列车上开展急救手术的能力<sup>[25]</sup>。我国空军改装了两型专用医疗救护飞机并装备部队, 一次可后送伤员数量分别为 17 人和 35 人<sup>[26]</sup>。“和平方舟”号医院船自 2008 年入列以来, 多次远赴海外开展人道主义医疗服务<sup>[27]</sup>。近年来, 我国也加大了移动式转运医疗装备的研发力度。山河智能装备股份有限公司研发的“龙马 2 号”高机动越野轮式移动机器人, 适合在山地、丘陵、沼泽、滩涂等恶劣环境进行伤员后送和物资伴随保障任务。因此, 研发满足批量危重伤员快速转运后送与转运过程中监护和救治能力的转运装备, 是未来灾害医学救援装备亟需解决的关键技术之一。

#### 1.5 医技保障装备

医技保障装备主要是指在医疗救护和应急救援领域中使用的各种专业保障设备。医技保障装备能够提供必要的医疗支持, 确保救援行动的顺利实施。从具体功能上, 医技保障装备可以分为预测预警装备、个体防护装备、医疗救护装备、现场处置保障装备、通讯和交通保障装备以及应急技术装备等。目前, 国内外关于医技保障装备的研究主要是以下几个方面。(1) 预测预警装备方面: 王源博等<sup>[28]</sup>提出了一种基于图像识别的无人森林火灾监测系统, 此系统硬件以 Windows 系统高性能地面站为运算平台, 以大疆御 2 (DJI Mavic 2) 无人机为图像数据传输工具, 最后归纳得出系统工作流程, 对森林火灾监测工作有一定的预测预警作用。(2) 个体防护装备方面: Anuranjann 等<sup>[29]</sup>介绍了一款先进的智能个体防护装备, 这款救援服整合了多种先进技术, 具有用于提高能见度的灯光、肘部区域的人体安全超声波传感器以及一系列能够检测气体、温度和脉搏波的传感器。这些传感器实时收集的数据可在救援服内嵌入的 LCD 屏幕。上述技术可在极端恶劣救援环境中提高能见度、增强安全性和高效数据通信。(3) 现场处置保障装备方面: 有文献探讨了移动医院、移动 CT 在灾害救援中的应用和前景, 强调了便携式影像设备在应急救援中的作用<sup>[30]</sup>。四川省医学科学院研发了一款车载移动 CT, 具备高抗震能力, 适用于全身各部位扫描, 为应急医学救援提供了必要的设备支持<sup>[31]</sup>。(4) 应急技术方面: 有研究者开发了一种新型的微波系统, 用于监测大脑的血流动力学信号, 通过对血流动力学信号的

分析,探索在灾害事故现场快速检测伤员颅脑是否出血及出血量的可行性<sup>[32]</sup>。

## 2 灾害救援医学装备研发的关键技术

### 2.1 感知技术

灾害救援中的感知技术主要是指通过声、光、电、磁、波等传感器,基于图像处理、多模态信号融合等技术对灾害事故现场的信息进行采集、挖掘分析,为灾害救援决策提供技术支持。感知技术在灾害救援装备中主要有两方面的应用:(1)在灾害救援的过程中通过各种类型的传感器来获取灾害事故现场的环境信息,为指挥决策提供技术支持<sup>[33-34]</sup>;(2)通过各种生命探测传感器确定伤员的位置进行伤员搜救,同时可以通过智能穿戴式感知技术实现在灾难现场和转运过程中的生命体征监测和预警。目前主流的感知技术主要有光学检测、红外检测、超声检测及生物雷达检测等<sup>[35-36]</sup>。郑学召等<sup>[37]</sup>基于超宽带雷达技术,构建了适用于矿山救援的生命信息识别模型,为井下环境感知、生命信息探测与救援方案制定提供了技术解决方案。烧伤深度的确定对于患者的护理至关重要,但目前的技术缺乏准确性。最近的一项动物研究表明,短波红外(short wave infrared, SWIR)成像可以区分浅表烧伤与深层烧伤,这是首次将SWIR评估工具与外科医师和病理学家的烧伤深度分类相关联的人类研究。应用SWIR在11例热损伤患者的烧伤和相邻正常皮肤上进行成像,结果表明使用SWIR进行的多光谱成像是一种很有前途的灾难现场伤员烧伤深度的评估方法<sup>[38]</sup>。

感知技术是灾害救援医学装备的“眼睛”。随着信息时代的到来,现代传感器技术已经摆脱了传统医用传感器体积大、性能差、高功耗等缺点。研发智能化、微型化、多参数、可遥控医学传感器和无创检测是未来感知技术发展方向<sup>[39-40]</sup>。

### 2.2 通信技术

灾害救援中的通信技术问题主要是如何在复杂恶劣的灾害救援现场,快速实现救援信息的传输和信号处理。低功耗广域网技术具有低功耗、便携性和快速匹配物联网信息传输的特性,是灾难现场物联网无线传输的主流方式之一<sup>[41-42]</sup>,可通过构建以监测设备为主要数据交互节点、体域网为核心载体的无线体域网通信技术,实现基于多模态数据挖掘分析的救援现场伤员伤情动态评估和预警。董飞等<sup>[43]</sup>基于体域网构建了矿工生命

体征监测与运动状态识别系统,通过自组网无线通信模块实现不同采集节点间的数据传输,具备低功耗、丢包率低、时延低等优点。在地面通信系统失效时,具有强大的覆盖范围和快速部署的卫星通信技术,尤其是低轨卫星可以在灾难救援中发挥重要作用。通过卫星通信,可以提供准确的实时数据、持续的风险评估、智能预测信息、灾害响应规划、自然灾害识别等功能<sup>[44]</sup>。

通信技术是灾害救援医学装备的“血液”。为应对灾难造成的通信中断,应在原有的地基蜂窝通信网络基础上叠加天基、空基等通信网络,形成分层的空天地一体化应急保障体系<sup>[45]</sup>。

### 2.3 自主导航技术

灾害救援中的自主导航技术问题主要是各类救援装备如何在灾难现场通过自身导航系统,不依赖于辅助设备和人工干预,达到智能路径规划和决策的目的。为了在因建筑物坍塌形成的狭小空间更好地开展救援工作,需设计不同类型的机器人。如以仿生学原理设计的蛇形机器人和蜘蛛形机器人,可以完成直线、侧向、垂直、翻转等不同移动方式,能深入废墟,完成被困人员的探测工作<sup>[46-47]</sup>。基于深度学习的路径优化和多模态融合技术,可以有效提升救援机器人的自主导航能力,进而进入复杂救援区域开展灾情数据采集和救治工作<sup>[48]</sup>。蒋济州等<sup>[49]</sup>对自主导航系统的感知定位与建图、运动规划与避障、轨迹跟踪与飞控制导等关键技术进行了分析总结,提出了仿生视觉系统研发、群体感知与编队控制以及面向多模态飞行的流场感知等提升复杂环境下自主导航能力的具体解决方案,为自主导航技术在灾害救援医学领域中的应用提供了技术支撑。美德等国家基于自主导航技术和柔性材料,研发了具有高伸展性能和弯曲性能的软体机器人,如德国Festo公司的仿象鼻机械臂Bionicsoftarm,极大地提高了灾难现场的救援效率。

自主导航技术是灾害救援医学装备的“四肢”。特种救援机器人可以实现火灾、地震、危险品爆炸及未来高技术武器作战等特殊环境下的现场环境感知、辅助决策及伤员的现场救护与快速立体后送。

### 2.4 数据处理和计算技术

灾害救援中的数据处理和计算技术主要是指在灾难现场实现多模态数据的挖掘分析,形成数据生产力,为伤员救治和指挥决策提供数据支持。

灾害救援医学装备涉及的数据处理技术主要包括生物医学信号处理、多模态数据融合技术以及基于机器学习算法的数据挖掘分析技术。常用数据处理方法主要包括时域法、频域法、功率谱估计算法、参数模型方法、小波变换、时变参数模型、混沌与分形、非线性熵、神经网络算法等<sup>[50]</sup>。由于救援现场计算资源有限，各类设备的数据特征不具有很好的一致性。因此，如何在救援现场基于各类医疗终端设备，快速搭建具备计算能力的数据处理平台，是实现现场辅助决策的关键之一。有研究以麻醉监护仪中记录的心电图和脉搏波，以及从心电图中计算出的心率变异性为模型的输入数据，采用卷积神经网络和长短期记忆网络相融合的结构，提升了麻醉苏醒状态监测的准确性和麻醉深度分类的能力，降低了患者术中知晓的风险，实现准确的麻醉深度监测<sup>[51]</sup>。灾害救援发达的国家，正在构建基于以芯片算力为底座，融合端边云网智等技术的数据算力体系，实现灾害事故现场与后方的无缝对接。

数据处理和计算技术是灾害救援医学装备的“大脑”。数据的不完整性和数据样本的不平衡性是制约救援现场数据有效利用的两大难题。迁移学习可以用于缓解训练样本数据不足的问题，利用生成对抗神经网络进行模态转化、映射可以缓解训练样本不平衡的问题<sup>[52]</sup>。

### 3 我国救援医学装备存在的问题

#### 3.1 通用技术研究滞后,核心组件创新性不强

救援医学装备的研发涉及机械工程、电子信息、计算机科学、自动化与控制等跨学科的知识和技术，需要解决人工智能、物联网、大数据等新兴技术与救援需求融合的问题，这些技术的集成和优化是一个巨大的挑战。我国救援装备关键技术对国外供应商具有一定的依赖性，国产自主可控技术少。复杂环境快速组网技术尚不可靠，不同厂家救援装备之间的数据共享技术亟待进一步发展，云边计算技术相应的稳定性和可靠性需进一步确认，救援机器人模式识别、路径优化算法和自主学习等技术有待进一步完善。

#### 3.2 环境友好型装备亟待研发

温度、气压、湿度和海拔等是影响救援装备性能的重要因素，发达国家已经逐步建立了救援装备的环境影响评估体系，开展了分析模型研究。环境因素对装备的影响评估，美军主要采用预测 -

对比改进的技术路线：先利用仿真模型进行预计与评估，然后结合试验平台进行救援医学装备的实验室或外场试验验证<sup>[53]</sup>。我国装备的保障性验证工作涉及众多部门与单位，工作关系复杂，管理难度大，尚未建立完善的环境影响评估方法和技术体系，环境友好型的救援装备尚未形成成熟可用的技术方案。

#### 3.3 装备系列化、标准化程度低

欧美等国家高度重视灾害救援医学装备的标准化建设，美国对于救援医学装备的管理采用装备目录体系管理，设有跨机构委员会，为救援医学装备的性能指标、测试标准以及技术研发、操作要求、培训要求等的发展和实施提供一个讨论交流的平台<sup>[54]</sup>。目前，我国灾害救援医学装备高端产品供给不足，中低端产品供给过剩，装备整体的系列化程度较低，尤其是在航空医学救援装备产品布局方面有待加强和进一步完善。同时，各类救援装备的物理接口、通信接口等方面存在不统一、标准化程度低等现象，严重制约救援装备的协同能力。

#### 3.4 产学研用深度融合不够,良好的商业模式有待建立

现阶段，我国灾害救援医学装备的产学研用体系还存在基础研究成果与产业需求失配、产学研用合作机制有待完善、研发与转化人才动力不足、金融资本与创新成果匹配度不高等问题。灾害救援医学装备的研发技术壁垒高，研发周期长，目前未形成良好的商业模式。通过联合灾害救援医学领域的科研院所、高校、医疗机构、企业等资源，打造灾害救援医学共性关键技术研发平台，实现创新成果的转化。以研发促进创新是实现灾害救援医学装备制造业高质量发展的重要路径，只有这样才能进一步提升我国灾害救援医学装备制造业的国际竞争力。

### 4 灾害救援医学装备发展趋势

#### 4.1 一体化设计、模块化制造

针对不同灾种的救援需求，采用一体化设计、模块化制造的理念，将新材料、新型结构、新驱动等应用于救援装备的结构设计中，使其能够灵活高效地在狭小空间、高寒、高湿等特殊环境完成既定功能。通过一体化设计、模块化制造，可最终实现智能麻醉监护高级生命支持一体机高效拆分与组装，大幅提高救援的时效性。

## 4.2 高可靠、便携式、低功耗

通过优化结构设计和新型材料的研发,提高装备的耐用性和稳定性,可确保救援装备在复杂和恶劣环境下的可靠运行。通过模块化设计和采用轻量化材料,可以提高救援装备携带和运输的便利性。低功耗是提高灾害救援装备续航能力和效率的关键,通过采用先进的节能技术和智能化电源管理系统,达到减少装备能耗提高装备能源利用效率的目的。

## 4.3 智能协同感知、智能协同控制、智能协同决策

通过对异构多平台多源传感器进行组网,利用多源传感器产生的视频、音频、图像、文本等跨介质多源大差异感知信息,实现对救援现场复杂环境的全面感知和综合分析,通过局部协调和冲突消解实现各类救援装备分布式自主决策。可开发能够适应现场作业环境的较为鲁棒的深度学习模型,采用卷积神经网络等算法实现救援现场不同装备的协同控制。

## 4.4 一机多能、平战兼容

未来救援医学装备的一机多能,一方面要实现装备的多种功能集成,如实现麻醉、多模态监护、除颤、生命支持功能的集成化;另一方面应用场景要广泛,既满足救援队员背负式的需求,同时能够通过接口实现在火车、船舶及直升机等救援转运装备上的应用。

## 5 灾害救援医学装备研发发展建议

### 5.1 加强顶层谋划,协调技术攻关

我国已经布局“重大自然灾害防控与公共安全”重点专项,尚未发布国家层面的灾害救援医学装备发展规划,建议在国家层面,组建灾害救援医学领域的全国重点实验室,制定灾害救援医学装备发展以及国产化关键技术攻关的总体战略规划。针对灾害救援医学装备全产业链的薄弱环节给予重点支持,围绕装备国产化关键技术,集中国内优势力量开展联合攻关,实现关键核心技术自主可控。

### 5.2 突破核心技术,加快国产化进程

加大智能传感技术、自控控制系统、国产芯片等核心技术的国产化进程。除了装备自身工艺自主研发之外,对相应的救援装备加工中所需的设备或核心部件也应同步进行技术攻关,实现灾害救援医学装备的自主保障。同时,应加大新型复合材料的研发力度,突破医用材料产业化的核

心技术,有效缓解国内救援装备复合材料严重依赖于进口的问题。

## 5.3 建立激励机制,推动创新转化

我国灾害救援医学装备产业化短板明显,“产学研用”连接性弱,科研机构的科技成果大多处于实验室应用阶段,产业化程度不高。建议探索并制定针对灾害救援医学装备产业化发展的激励政策,推动建立以企业为主体,高校、科研院所、企业协调运作的产业体系,设立灾害救援医学装备技术孵化器,以自主创新驱动灾害救援医学产业链发展。

## 6 结语

大力发展灾害救援医学装备,是推进灾害事故防控能力建设的重要内容。从灾害救援医学装备的发展现状和未来发展趋势来看,灾害救援医学装备将由手动式的破拆、搬运等装备向一机多能、低功耗、智能决策的环境友好型装备发展。在信息技术时代变革的背景下,智能救援装备在灾害救援中的作用愈发显著。通过加强顶层谋划、加快核心技术国产化和大力推动成果转化,必将实现我国灾害救援医学装备的高质量发展。

**作者贡献** 王彬华: 查阅文献, 文章撰写; 李晓雪: 确定文章框架结构, 文章修改。

**利益冲突** 所有作者声明无利益冲突。

## 参考文献

- 肖蕾. 以韧性城市建设提升城市品质 [J]. 三晋基层治理, 2023 (6): 63-68.
- 彭义江, 石程涛. 水域救援装备现状与发展探究 [J]. 劳动保护, 2022 (7): 82-84.
- 张航, 徐鸿鑫, 张亚茹, 等. 深井救援机器人研究 [J]. 电子质量, 2023 (11): 13-16.
- 朱笑然, 张云昌, 张涛, 等. 废墟狭小空间多旋翼生命搜索无人机需求分析和关键技术探讨 [J]. 中国应急救援, 2021 (4): 54-57.
- 李子龙, 张鑫, 侯旭一, 等. 无人智能化技术在卫勤领域的应用现状 [J]. 医疗卫生装备, 2023, 44 (3): 80-85.
- 关泰红, 辛连勇, 赵磊, 等. 轮式移动机器人在卫勤保障中的应用综述 [J]. 医疗卫生装备, 2024, 45 (3): 86-94.
- 尚红, 颜军利, 胡卫建, 等. 地震搜救机器人装备开发研制历程概述 [J]. 中国应急救援, 2018 (3): 38-45.
- 景裕, 曹育森, 朱明明, 等. 非接触式生命探测技术研究现状与发展 [J]. 中国医疗设备, 2021, 36 (6): 1-4.
- Islam SMM, Boric-Lubecke O, Lubecke VM, et al. Contactless radar-based sensors: recent advances in vital-signs monitoring of multiple subjects [J]. IEEE Microw Mag, 2022, 23 (7): 47-60.
- Wang AR, Nguyen D, Sridhar AR, et al. Using smart speakers to contactlessly monitor heart rhythms [J]. Commun Biol, 2021, 4 (1): 319.
- MS Westfalia GmbH. The introduction of Jenny integrated machine

- [EB/OL]. <https://www.werk-m.com/portfolio-item/jenny>.
- 12 MOVES® SLC™. Agile, mobile, self-sufficient lifesaving critical care in austere and far-forward settings [EB/OL]. <https://thornhillmedical.com/military>.
  - 13 牛航舵. 便携式呼吸机系统的研发 [D]. 深圳: 深圳大学, 2022.
  - 14 刘岩, 李晓雪, 郝昱文, 等. 直升机应急医疗救援培训需求的横断面调查研究及启示 [J]. 解放军医学院学报, 2024, 45 (3): 310-314.
  - 15 王彬华, 李远洋, 李晓雪. 便携式麻醉机应用及研究进展 [J]. 生物医学工程研究, 2024, 43 (3): 256-260.
  - 16 陈杰, 龚家明. 野战麻醉机的研制现状与发展趋势 [J]. 医疗卫生装备, 2012, 33 (2): 81-84.
  - 17 吕康, 韩荣燕, 周光居, 等. 体外膜肺氧合在严重创伤救治中的应用研究进展 [J]. 中华创伤杂志, 2021, 37 (8): 761-767.
  - 18 吕鹏飞, 叶继伦, 张旭, 等. 体外除颤技术及应用研究进展 [J]. 中国医疗器械杂志, 2018, 42 (3): 188-192.
  - 19 Qi GJ, Chao YL, Xi XY, et al. Effect analysis of early bedside hemo-filtration in treatment of severe pneumonia with acute renal failure of children [J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2015, 19 (24): 4795-4800.
  - 20 赵宇, 闫姝洁. 体外膜肺氧合在非战争军事行动医学救治中的应用 [J]. 人民军医, 2020, 63 (10): 942-945.
  - 21 Geetha S, Verma N, Chakole V. A comprehensive review of extra corporeal membrane oxygenation: the lifeline in critical moments [J]. Cureus, 2024, 16 (1): e53275.
  - 22 马寻君, 蔚俊, 刘海涛, 等. 手术机器人关键技术综述与优化探讨 [J]. 中国医疗器械杂志, 2024, 48 (5): 505-511.
  - 23 Wilk-Jakubowski G, Harabin R, Ivanov S. Robotics in crisis management: a review [J]. Technol Soc, 2022, 68: 101935.
  - 24 常明涛, 张连阳. 美军战场联合搜救体系现状 [J]. 中华灾害救援医学, 2019, 7 (4): 230-233.
  - 25 熊学莉, 范忠武, 尹传东. 我国自主研发的首列卫生列车手术急救车通过技术审查 [J]. 医疗卫生装备, 2013, 34 (1): 149.
  - 26 张晓丽, 张莉莉, 王志翔, 等. 美国空军空运医疗后送发展及思考 [J]. 空军医学杂志, 2021, 37 (2): 171-173.
  - 27 吕传禄, 杨延龙, 王侠. “和平方舟”号医院船医疗服务研究现状和热点探析 [J]. 中华航海医学与高气压医学杂志, 2021, 28 (2): 159-162.
  - 28 王源博, 唐纪龙, 申睿. 基于图像识别的无人机森林火灾监测系统设计与实现 [C] //2024年度灭火与应急救援技术学术研讨会论文集-消防技术装备与装备管理. 北京: 中国人民警察大学、中国消防协会, 2024: 12-16.
  - 29 Anuranjann GT, Gokul V, Harish Kumar CSG, et al. Advanced sensor-based suit for rescue and research purposes [J]. IRJET, 2023, 10 (10): 867-871.
  - 30 Chen XL, Lu L, Shi J, et al. Application and prospect of a mobile hospital in disaster response [J]. Disaster Med Public Health Prep, 2020, 14 (3): 377-383.
  - 31 黄鑫, 温林, 郝鹏, 等. 基于紧急医学救援的车载移动CT的研究与实践 [J]. 中国医疗器械杂志, 2023, 47 (1): 66-69.
  - 32 Särestöniemi M, Singh D, von Und Zu Fraunberg M, et al. Microwave technique for linear skull fracture detection-simulation and experimental study using realistic human head models [J]. Biosensors (Basel), 2024, 14 (9): 434.
  - 33 张慧贤, 杨海军, 马利民, 等. 消防机器人作业环境智能感知与识别关键技术 [J]. 机械制造与自动化, 2021, 50 (6): 186-189.
  - 34 封敏. 大数据驱动的流域洪涝灾害智能决策引擎关键技术研发 [J]. 中国水利, 2023 (11): 45-48.
  - 35 石丁, 乔家豪, 马洋洋, 等. 基于生物雷达的受困人员生命状态探测识别技术研究现状与展望 [J]. 信息化研究, 2021, 47 (2): 7-12.
  - 36 Peters S, Horlbeck M, Probst F, et al. Bringing portability to a new level: a high-sensitivity, low-power monostatic CW radar at 24 GHz [J]. IEEE Microw Mag, 2022, 23 (10): 68-74.
  - 37 郑学召, 马扬, 黄渊, 等. 面向矿山救援的UWB雷达生命信息识别研究现状与展望 [J]. 工矿自动化, 2024, 50 (7): 12-20.
  - 38 Nunez J, Mironov S, Wan BC, et al. Novel multi-spectral short-wave infrared imaging for assessment of human burn wound depth [J]. Wound Repair Regen, 2024, 32 (6): 979-991.
  - 39 Saluja J, Casanova J, Lin J. A supervised machine learning algorithm for heart-rate detection using Doppler motion-sensing radar [J]. IEEE J Electromagn RF Microw Med Biol, 2020, 4 (1): 45-51.
  - 40 Petrović VL, Janković MM, Lupšić AV, et al. High-accuracy real-time monitoring of heart rate variability using 24 GHz continuous-wave Doppler radar [J]. IEEE Access, 2019, 7: 74721-74733.
  - 41 万振, 邱丹, 刘元喆, 等. 国内医疗物联网技术发展及应用现状 [J]. 医疗卫生装备, 2020, 41 (11): 82-86.
  - 42 寇家华, 唐雷, 乔峙, 等. 基于可穿戴计算的体域网技术应用现状与趋势研究 [J]. 信息通信技术与政策, 2020 (8): 75-79.
  - 43 董飞, 李彦廷, 慕灯聪, 等. 基于体域网的矿工生命体征监测与运动状态识别 [J]. 牡丹江师范学院学报 (自然科学版), 2023 (1): 12-18.
  - 44 Lagunas E, Chatzinotas S, Ottersten B. Low-Earth orbit satellite constellations for global communication network connectivity [J]. Nat Rev Electr Eng, 2024, 1: 656-665.
  - 45 梁云杰. “断路断电断网”等极端条件下应急通信保障对策 [J]. 消防科学与技术, 2021, 40 (3): 449-452.
  - 46 袁延, 秦飞舟. 四驱智能矿井救援机器人的设计 [J]. 机械工程与自动化, 2019 (2): 160-161.
  - 47 朱明杰, 林友坤. 基于STM32单片机的多功能WiFi视频智能灭火小车硬件设计 [J]. 信息通信, 2019, 32 (1): 87-88.
  - 48 吴福森. 水下机器人静水压力试验研究 [J]. 机电工程技术, 2021, 50 (5): 134-137.
  - 49 蒋济州, 徐文福, 潘尔振. 仿生扑翼飞行器机器人自主导航系统研究进展 [J]. 仪器仪表学报, 2023, 44 (11): 66-84.
  - 50 Guo CH. The application of fractional wavelet transform in image enhancement [J]. Int J Comput Appl, 2021, 43 (7): 684-690.
  - 51 郭艺, 杜秋晨, 吴滕滕, 等. 人工智能赋能麻醉监护仪实现麻醉深度监测 [J]. 中国医疗器械杂志, 2023, 47 (1): 43-46.
  - 52 Yang FE, Chang JC, Tsai CC, et al. A multi-domain and multi-modal representation disentangler for cross-domain image manipulation and classification [J]. IEEE Trans Image Process, 2019.
  - 53 王凯. 装备全寿命过程保障性验证方法研究 [D]. 北京: 北京理工大学, 2014.
  - 54 吴赞, 杜晓霞, 葛亮. 复杂灾害条件下生命搜救装备标准体系研究 [C] //2021中国消防协会科学技术年会论文集. 北京: 中国消防协会, 2021.

(责任编辑: 孟晓彤)