

中美战场搜救转运体系及装置研究进展

任文庆^{1,2}, 崔萌³, 马晓东²

¹解放军医学院, 北京 100853; ²解放军总医院第一医学中心神经外科学部, 北京 100853; ³解放军总医院第六医学中心急诊医学科, 北京 100048

摘要:目前国际形势多变, 战争频发, 武装冲突一线伤员搜救及转运装置的研究成为热点, 日趋成熟的无人驾驶车辆技术突破了战场一线伤员搜救转运的传统方式。我军及美军均在该方面做了一些探索研究, 但两者仍存在一些差距, 该文就美军和我军伤员搜救及后送装置方面的研究进行综述, 主要包括两军搜救转运体系及装置的发展和现状、两军各类新型转运装备的研发和应用。

关键词:战场伤员后送; 战术战伤救治; 无人医疗运输系统; 自主医疗机器人; 战现场急救; 远程创伤评估; 智能医疗决策支持; 军用医疗物联网

中图分类号: R826.1; R318.6; R197.39

文献标志码:

文章编号: 2095-5227(2025)09-0916-06

DOI: 10.12435/j.issn.2095-5227.24061801

引用本文: 任文庆, 崔萌, 马晓东. 中美战场搜救转运体系及装置研究进展 [J]. 解放军医学院学报, 2025, 46 (9): 916-921.

Research advances in search and rescue transportation systems and devices in battlefield of Chinese and US military

REN Wenqing^{1,2}, CUI Meng³, MA Xiaodong²

¹Chinese PLA Medical School, Beijing 100853, China; ²Department of Neurosurgery, the First Medical Center of PLA General Hospital, Beijing 100853, China; ³Department of Emergency Medicine, the Sixth Medical Center of PLA General Hospital, Beijing 100048, China

Corresponding author: MA Xiaodong. Email: xiaodongm@hotmail.com

Abstract: Given the volatile international landscape and frequent armed conflicts, research on frontline battlefield casualty search and rescue evacuation devices has become a hotspot. Continuously maturing uncrewed vehicle technology is revolutionizing traditional approaches to frontline casualty evacuation. Both the PLA and the U.S. military have conducted exploratory research in this domain, yet persistent gaps remain. The following provides a comprehensive review of U.S. and PLA research on casualty search, rescue, and evacuation devices, encompassing the development, current status, and application of various new evacuation equipment within both armies.

Keywords: battlefield casualty evacuation; tactical combat casualty care; unmanned medical transport system; autonomous medical robot; prehospital battlefield care; remote trauma assessment; ai-based medical decision support; military medical internet of things

Cited as: Ren WQ, Cui M, Ma XD. Research advances in search and rescue transportation systems and devices in battlefield of Chinese and US military [J]. Acad J Chin PLA Med Sch, 2025, 46(9): 916-921.

战场一线伤员搜救转运一直是卫勤保障的难题。现代化战争条件下, 致伤因素多而复杂, 作战形式多样, 伤员分布分散, 导致搜救困难, 不同环境下作战时的搜救需求不同, 严重影响卫生兵在战时一线抢救伤员并完成转运^[1]。目前, 我军战场伤员一线后送装备主要依赖担架、救护车、救援直升机等, 转运后送过程需要消耗大量

的卫生兵、军医等人力, 导致救援及转运效率不高, 且复杂的战争环境有可能导致救援人员的伤亡。中美战场一线转运已形成了集搜救、后勤保障、转运后送为一体的联合行动, 各种搜救和转运装备被研发并应用于实战。本文对目前中美战场搜救转运体系及装置的研究进展进行综述, 以指导新型伤员转运高智能一体化装置的研究设计和实施, 为卫勤保障理论探索提供依据。

1 美军战场联合搜救转运体系及装置

1.1 体系

美军现行的搜救转运体系包括有效的组织指

收稿日期: 2025-07-18

基金项目: 省部级课题

第一作者: 任文庆, 博士, 副主任医师。Email: 18600310676@163.com

通信作者: 马晓东, 博士, 主任医师。Email: xiaodongm@hotmail.com

挥、人员搜救的教育和培训、搜救转运装备的保障、伤员后送、专业医疗救治^[2]。组织指挥由联合人员搜救局协助战区作战指挥官统筹规划救援需求。此外，联合人员搜救局负责制订联合人员搜救指南和相关搜救装备的定制研发、人员培训等，战区指挥官任命联合搜救部队指挥官负责搜救指挥和搜救行动的计划。在部队层面，搜救部队指挥官设立人员搜救协调小组指挥搜救部队间协同合作，具体实施搜救和转运行动^[3-4]。搜救和转运的教育培训主要针对搜救指挥官、搜救部队、参战的面临风险的个人，美军特种作战司令部对搜救部队进行培训，而个人则由军内的搜救专家进行培训。搜救程序包括伤员搜救报告、伤员精确定位、各种保障支援、搜救力量的搜救行动及伤员搜救后的复元^[2]。

美军伤员的后送遵循“4 Right”理念，将正确的伤员在正确的时间转运后送至正确的地点接受正确的医疗处置。基于安全、快速的特点，空中转运后送是美军目前最主要的后送方式^[5-6]。

1.2 装置

为了保障一线快速、安全地转运伤员，美军研发了一些智能救援设备。

1.2.1 伤员搜救装置 特点是体型小，重量轻，通过性强。不具备转运、急救功能。主要包括：(1)Atlas 机器人：这是一款美国波士顿动力公司研发的可以跑跳的机器人，能自主定位和导航，对环境适应性强，可在自主导航下通过曲折道路和狭窄地区，契合战场搜救机器人要求^[7]。(2)Packbot 机器人：由 iRobot 公司研发，是典型的搜索任务型机器人。适用于狭窄、崎岖的环境中，可通过远程遥控完成任务^[8]。

1.2.2 伤员救治装置 主要是治疗功能，通过远程协同完成治疗任务。如“创伤吊舱”手术机器人系统，由 SRI 研究所研发，可远程操控，相当于集成式手术室，适合整装运送至战场，可直接开展医疗救治任务^[9]。

1.2.3 传统伤员急救转运装置 相当于具备急救功能的转运担架，需要借助人力、飞机、动力车辆搬运伤员。主要包括：(1)移动式重症监护抢救设备(mobile intensive care rescue facility, MIRF)：类似于移动的 ICU 设备单元，便于伤员在受伤地点得到紧急救治，是一种转运直升机适配的便携式重症抢救设备，与直升机共同构成了战场救援及途中救护系统。其主要部件为除颤仪、多功能

监护仪、吸引器、呼吸器、定量输液泵、注射泵、完备的电力供应，可迅速安装到大型阵列的汽车或直升机上，准备工作只需要几分钟^[10-11]。(2) LSTAT(Life Support for Trauma And Transport)系统：是近年美军重点发展的野战救护系统，它是以担架为基础的小型救护装置，可更接近战场或出事地点，在野外进行外科手术和医疗支援，在伤员后撤期间可帮助伤员恢复呼吸、维持生命。其嵌入了许多 ICU 医疗护理装置，包括监测心率和呼吸速率、测定血样和供氧的仪表及输氧装置等。该系统的主要目的是把医院带到海军陆战队，而不是把海军陆战队带到医院。LSTAT 系统还可以记录伤员的医疗数据，通过数据链路传到伤员救护中心，未来该系统还将配备数字化无线电系统，地面医师可以通过分析数据给出治疗建议^[12]。有研究发现，通过直升机紧急医疗系统直接将患者转运至一级创伤中心可显著降低伤死率。地面救护车转运至大学医院组和直升机转运至大学医院组的患者生存率相同^[13]。还有研究标明，直升机紧急医疗系统转运患者对生存的有益影响似乎仅限于生理不稳定的患者，生理稳定的患者通过空运似乎结局更差^[14]。直升机紧急医疗系统转运患者主要在受伤后的前 30 min 内与总体生存率提高相关，而地面救护车转运在院前总时间为 61 ~ 90 min 时具有生存优势^[15]。

1.2.4 半自主或者自主转运装置 特点是节省人力，自主转运后送伤员。主要包括：(1)救援和转运机器人 VECNA BEAR。其采用拟人式手臂，双手可以举起 220 kg 的重量，其底部关节可折叠，可抱、抬伤员，传输图像且被远程操控，可作为未来的移动担架。其动力采用电动履带驱动系统并添加动力平衡技术。在模拟试验中，可以完成伤员的平稳救援转运和简单的急救操作^[16-17]。(2)自主转运装置。地面无人驾驶车辆(unmanned ground vehicle, UGV)是集环境感知、定位、导航、路径规划、决策和运动控制于一体的综合智能系统，它结合了包括计算机科学、数据融合、机器视觉、深度学习等高科技，以满足实际需求，实现预定目标，在民用和军事领域都具有巨大的应用潜力。由于战地地面快速转运困难且需要大量卫生兵，一线转运后送也存在人员再次伤亡的风险，美军逐渐开始研发无人驾驶车辆来实现伤员的自救和自行转运后送^[18-20]。2017 年美国陆军设计了半人马 UGV(Centaur UGV)，其是 MTRS 公

司可移动机器人系统-增强版II计划的一部分,目的是为每名排爆人员和高爆炸药工程师配备半人马平台。74 kg的UGV充一次电可以工作长达8 h,可清除略高于15 cm的障碍物。五自由度机械臂最大可达到2 m,可举起14.5 kg的重物。该设备已被美国所有军种采用,且北约和其他五眼国家也从该公司订购了大量该设备,以配备军队或民用^[21-23]。2021年7月全球智能多域机器人系统领导者AeroVironment公司向美国五角大楼部队保护局交付的telemax™elemax大楼部队无人地面车辆,是一种多功能UGV,具有广阔的有效载荷舱和自动工具交换,允许操作人员携带多个工具、干扰器或其他传感器,避免了往返负载。telemax EVO HYBRID采用带有自动调平的4轨道驱动系统,可轻松处理多种梯度、间隙和地形,其车载IP Mesh无线电可在复杂的城市环境中提供安全通信。虽然该UGV最初设计的用途是排爆和处理危险品,但其在军用转运场景的使用更有潜在前景^[24-25]。美军UGV的研发主要应用于武器装备,目前还未检索到其真正应用于战场伤员后送的报道。

2 我军战场联合搜救转运体系及装置

2.1 体系

借鉴美军的搜救转运体系,我军于2005年开始系统研究自己的野战搜救体系,2007—2014年应用,并不断完善和发展^[26]。我军搜救转运体系是指综合利用自组网、传感器、无线测向、战场环境、计算机等高新技术方法,研制完成从初级短距单兵搜救到可支持野战条件下多时空多维度智能感知呼救事件、扁平化快速搜救响应的信息

化战救保障体系^[26],由单兵呼救终端、单兵生命监测终端、搜救终端、北斗数据通信终端、运输工具通讯数据终端、空中智能感知中继战救数据平台等信息化装备和一线搜救、营连抢救、师旅团救护所战救信息系统等软硬件共同组成,能够实现多维度、多战域的互联互通和搜救行动实施。我军还基于目前的卫勤保障体系构建了单兵搜救系统,形成了战区四级搜救信息节点。使用单兵搜救终端装置(包含无线通信、定位、伤情信息等模块)、单兵生命体征监控装置、搜救信息手持机、战救信息无线收发器硬件装备和相应的信息软件系统,形成末端单兵到指挥机构信息节点完备、信息装备要素齐全,并适应作战单元动态变化的战救与信息系统体系架构^[26-28]。目前中美战场搜救转运体系对比见表1。

2.2 装置

我军在建立联合搜救转运体系的过程中,研发了各种新型的搜救转运装备,以实现战场更有效和安全的转运后送。目前中美战场部分搜救转运装置对比见表2。

2.2.1 伤员搜救装置 (1)野外搜救机器人系统:由哈尔滨工程大学设计研发,主要由系统主控制器、导航定位模块、避障模块、探测模块、通信模块、运动控制模块组成。其通过整体调试能够导航到指定目标范围内,实时传回现场的环境信息,保证了后续救援工作的顺利进行^[29]。(2)搜救型无人机:我国研发的无人机搜救系统目前基于热成像(搭载红外热成像仪)、光学视觉人工智能(搭载视觉AI识别系统)、声呐浮标(搭载声呐探测)等,可进行伤员的搜索探测定位并报告后方救援人员,

表1 中美战场搜救转运体系及装置对比

Tab. 1 Comparison of battlefield search, rescue, and evacuation systems and equipment between China and the United States

| 项目 | 我军 | 美军 |
|------------|---|--|
| 伤员转运方式及特点 | 地面转运为主,效率低,救援人员伤亡风险大 | 空中转运为主,效率高,救援人员伤亡风险大 |
| 传统伤员转运装置 | 担架/野战救护车 | 直升机/运输机 |
| 新型急救转运装置 | 野外搜救机器人/轮腿可变搜救机器人/无人救援机器人/无人机 | MIRF/LSTAT系统,缺乏自主动力,存在救援人员伤亡风险。VECNA BEAR机器人转运距离短,缺乏全自主模式和搜救功能 |
| 搜救转运体系组成 | 单兵呼救终端、单兵生命监测终端、搜救终端、北斗数据通信终端、运输工具通讯数据终端、空中智能感知中继战救数据平台等信息化装备和一线搜救、营连抢救、师旅团救护所战救信息系统等 | 有效的组织指挥、人员搜救的教育和培训、搜救转运装备的保障、伤员后送、专业医疗救治 |
| 搜救转运装备体系 | 呼救报告装备、搜寻定位装备、救援救生装备、现场急救装备、医疗后送装备和搜救信息系统比较落后 | 呼救报告装备、搜寻定位装备、救援救生装备、现场急救装备、医疗后送装备和搜救信息系统更现代化 |
| 无人地面车辆伤员转运 | 用于医疗后送的尚无报道 | 用于医疗后送的少有报道 |

表2 中美战场无人搜救转运车对比

Tab. 2 Comparison of unmanned search and rescue/evacuation vehicles between China and the United States

| 转运装置 | 生产厂家 | 车体尺寸 (mm) | 整体重 量 (kg) | 最大载 重 (kg) | 动力 模式 | 行驶模式 | 最大速度 (km/h) | 续航时间 或里程 | 最大爬 坡度 (°) |
|---------------|------------------|-------------------------|---------------|---------------|----------|---------------|----------------|-------------|---------------|
| 班组任务支持系统 SMSS | 洛克希德公司 | 长 3 600×宽 1 800×高 2 100 | 1 724 | 544 | 柴油发动机 | 人工驾驶/ 自动驾驶 | 160 | 200 km | NA |
| “泰坦”地面无人车 | 毫雷姆和奎奈蒂克北美公司 | 长 2 006×宽 2 108×高 1 016 | 908 | 681 | 混合电驱动 | 人工遥控 | 24 | 100 km | NA |
| “角斗士”无人车 | 美国卡内基梅隆大学 | 长 1 780×宽 1 120×高 1 350 | 726 | 181 | 混合电驱动 | 人工遥控 | 33 | 24 h | NA |
| “骆驼”无人车 | 美国诺思罗普·格鲁曼遥控技术公司 | 长 1 520×宽 810×高 1 820 | NA | 350 | 纯电驱动 | 人工遥控 | 8 | 36 h | 35 |
| MARRS 无人车 | 英国奎奈蒂克北美公司 | 长 1 200×宽 700×高 1 000 | 160 | 182 | 纯电驱动 | 人工遥控 | 11 | 12 h | 40 |
| “忒弥斯”模块化无人车 | 爱沙尼亚 Milrem 公司 | 长 2 000×宽 2 100×高 980 | 850 | 750 | 混合电驱动 | 人工遥控/ 自动驾驶 | 35 | 10 h | NA |
| MUGV 模块化无人车 | 美国 DRS 技术公司 | 长 1 570×宽 1 210×高 1 000 | 317 | 226 | 纯电驱动 | 人工遥控/ 自动驾驶 | 18 | 17 h | 45 |
| MUTT 无人车 | 美国通用动力陆地系统公司 | 长 1 680×宽 1 380×高 1 300 | 340 | 272 | 纯电驱动 | 人工遥控 | 13 | 10 h | 31 |
| “砺剑”无人车 | 南京理工大学 | 长 1 120×宽 625×高 340~430 | 55 | 30 | 混合电驱动 | 自动驾驶 | 25 | 4 h | 35 |
| 轻型无人车 | 山河智能 | 长 2 300×宽 1 600×高 1 400 | 1 250 | 500 | 纯电驱动 | 人工遥控/ 自动驾驶 | 60 | 5 h | 32 |

但无法进行实时救援和转移后送^[30-32]。中大型无人机联合无人救援转运担架或机器人是未来实现战场无人化智能救援后送的发展方向，其搜索和救援范围将比目前依靠车辆的地面转运扩大很多。

2.2.2 伤员救治装置 结合早期的“单兵背负式远程医疗系统”，我军研发了野战方舱、救护分队的指挥系统、信息传输系统，这些系统将单兵呼救终端、单兵生命监测终端、北斗数据通信终端、空中智能感知中继战救数据平台等信息化装备与一线搜救、营连抢救、师旅团救护所战救信息系统等进行了端口升级对接。单兵呼救信息装备与战救信息系统可实现双向实时信息交换，使野战救护力量前移至战斗一线^[33]。另外，我军也在积极开发远程手术机器人系统。北京航空航天大学机器人研究所和解放军总医院第六医学中心联合开发的CRAS-BH型机器人系统，不需要定向框架仪，依赖CT扫描数据就可以完成神经外科手术，目前已经用于医院船伤员远程手术救治^[34-35]。我军还积极研发开颅机器人，有望通过远程控制和人机协同完成更多的一线伤员救治任务^[36]。

2.2.3 伤员转运装置 (1)轮腿可变搜救机器人系统：2020年由军事科学院设计并研发，是一种兼具轮式运动平台的高机动性与弧形腿式运动平台的高地形自适应能力的轮腿可变搜救机器人。因其适应不同路面(平坦或崎岖)，可在不同模拟战场

环境下转运伤员,但其未搭载导航搜索、急救设备^[37]。(2)无人救援机器人：由北京航空航天大学及中国科学院重庆绿色智能技术研究院联合研发，在已有的全地形车上搭载了救援转运平台，能够遥控操作实现伤员无人化转运。但其转运距离有限，且未加载导航定位、激光雷达等^[38]，所以未能实现全自动化转运伤员。

此外，我国对无人驾驶技术在救援转运方面的研究和应用也进行了初步的探索。中科院计算技术研究所研究的地面条件感知的鲁棒激光惯性里程计及优化算法具有良好的鲁棒性和准确性^[39]，这有利于提升无人驾驶车辆的运动轨迹精度和行驶安全性。国防科技大学智能科学院于2023年研发油气主动悬架垂直稳定性自适应自抗扰滑模控制技术，有效提高了UGV在复杂路况下的垂直稳定性，为UGV在战场不同复杂道路条件下的使用奠定了理论和实验基础。同时，该团队为了克服UGV跟踪路径结构和非结构的不确定性，提出了一种使用粒子群优化的无模型预测控制策略，该策略不需要精确的数学模型，可以快速跟踪参考路径^[40]。华南理工大学研究设计了一种安装在UGV上的传感器检测系统，研发了基于多传感器信息融合的无人地面车辆避障算法，使得UGV在避障方面更加优越和可靠^[41]。广州理工大学设计提出了一种在全球定位系统无法使用的环境下通

过多传感器融合方法实现UGV鲁棒精确定位方案,经模拟验证,其在无全球定位系统条件下的车辆定位依然准确可靠^[42]。此外,国内很多UGV的研究都使得其功能更加完备,性能更加可靠,包括持续动力、定位功能、轨迹跟踪、环境感知、障碍检测、避障行驶、可靠制动、速度控制、一键返航等^[43-46]。

3 结语与展望

目前我军及美军的战场伤员搜救转运和救治措施存在的共同问题是搜寻-急救-转运环节分离,搜救效率大打折扣。而相较于美军,我军转运体系的差距主要体现在装备体系内。美军率先将机器人、无人驾驶、通讯、导航等技术应用于战场搜救和转运,但随着我国无人驾驶车辆、无人机、人工智能技术的发展,我军在搜救和转运设备的更新迭代更显优势。未来战场急救、转运及救治装置的发展方向就是实现搜-救-运一体化功能的装备,大力发展自主救援装置,真正实现无人化救援,充分减少卫勤人员的人力消耗,实现轻中伤员的自救互救和后方转运,使卫勤人员发挥真正的后方救护所医疗处置作用,提高现代战争中伤员的救治成功率。

作者贡献 任文庆: 参考文献检索、论文撰写; 崔萌: 参考文献审阅、论文审读和修订, 监督指导; 马晓东: 审读和修订, 监督指导。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突。

参考文献

- 陈翀, 章保新, 冯睿, 等. 实战化卫勤战伤的救护训练 [J]. 武警医学, 2023, 34 (3): 271-273.
- 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.
- 史伟, 莎日呐, 刘术. 美军战场人员搜救案例解析 [J]. 解放军医院管理杂志, 2018, 25 (1): 97-100.
- 史伟, 莎日呐, 刘术. 外军卫勤系列研究 (119) 美国军队战场人员搜救条令解析 [J]. 人民军医, 2018, 61 (1): 26-29.
- Renz EM, Cancio LC, Barillo DJ, et al. Long range transport of war-related burn casualties [J]. J Trauma, 2008, 64 (2 Suppl): S136-S144; discussionS144-5.
- 李旭霞, 刘术, 胡家庆, 等. 美国海军海上搜救体系分析与启示 [J]. 中华航海医学与高气压医学杂志, 2021, 28 (1): 126-129.
- 王选瑞. 关于逆天的Atlas拟人机器人论述 [J]. 中国战略新兴产业, 2017 (4): 96-98.
- 邵晟宇. PackBot 机器人系统简介 [J]. 医疗卫生装备, 2016, 37 (9): 46.
- Moustris GP, Hiridis SC, Deliparaschos KM, et al. Evolution of autonomous and semi-autonomous robotic surgical systems: a review of the literature [J]. Int J Med Robot, 2011, 7 (4): 375-392.
- D' Amore AR, Hardin CK. Air Force expeditionary medical support unit at the Houston floods: use of a military model in civilian disaster response [J]. Mil Med, 2005, 170 (2): 103-108.
- Grantthomson JC. MIRF: a close look at an intensive care aeromedical evacuation capability [N]. Defense Industry Daily, 1997-3-21.
- Velmahos GC, Demetriades D, Ghilardi M, et al. Life support for trauma and transport: a mobile ICU for safe in-hospital transport of critically injured patients [J]. J Am Coll Surg, 2004, 199 (1): 62-68.
- Biewener A, Aschenbrenner U, Rammelt S, et al. Impact of helicopter transport and hospital level on mortality of polytrauma patients [J]. J Trauma, 2004, 56 (1): 94-98.
- Ryb GE, Dischinger P, Cooper C, et al. Does helicopter transport improve outcomes independently of emergency medical system time [J]. J Trauma Acute Care Surg, 2013, 74 (1): 149-154; discussion154-6.
- Colnaric J, Bachir R, El Sayed MJ. Association between mode of transportation and outcomes of adult trauma patients with blunt injury across different prehospital time intervals in the United States: a matched cohort study [J]. J Emerg Med, 2020, 59 (6): 884-893.
- Kim TY, Jung S, Yoo WS. Lumped track modeling for estimating traction force of vecna BEAR type robot [J]. Trans Korean Soc Mech Eng A, 2015, 39 (3): 275-282.
- Milo S, Klee P. BEAR to the Rescue [J]. EE, 2011, 1: 6.
- Cummings ML, Guerlain S. Developing operator capacity estimates for supervisory control of autonomous vehicles [J]. Hum Factors, 2007, 49 (1): 1-15.
- Ranasinghe K, Kapoor R, Gardi A, et al. Vehicular sensor network and data analytics for a health and usage management system [J]. Sensors, 2020, 20 (20): 5892.
- Lee DH, Kwon YP, McMains S, et al. Convolution neural network-based lane change intention prediction of surrounding vehicles for ACC [C] //2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). October 16-19, 2017. Yokohama. IEEE, 2017: 1-6.
- Beinart M. FLIR Receives \$32 Million To Deliver 250 More Centaur Ground Robots To Army, Air Force and Navy [N]. Defense Daily, 2020-11-16.
- Barone MG. Send in the drones: UGV for special missions [J]. MILTECHNOL, 2020, (9/10): 44.
- Shinghal U, Mowdhgalya YAV, Tiwari V, et al. Centaur - a self-driving car [J]. Int J Comput Trends Technol, 2020, 68 (4): 129-131.
- Telerob, an AeroVironment Company, Receives Multi-Million Dollar UGV Order from Latvian MoD [N]. MAFO, 2021-9-28.
- AeroVironment to acquire Telerob to bolster ground robotics expertise [N]. Inside Defense, 2020-12-8.
- 连平, 龚红伟, 秦超, 等. 野战搜救系统实战化应用与深化建设 [J]. 解放军医院管理杂志, 2016, 23 (10): 901-903.
- 吴宝明, 刘沛, 庞宇, 等. 基于穿戴式监测和北斗技术的伤员快速搜救仪 [J]. 传感器与微系统, 2015, 34 (6): 105-108.
- 陈剑, 董秀珍, 焦腾, 等. 单兵生命状态监测系统研究 [J]. 医疗卫生装备, 2005, 26 (7): 20-21.
- 吴亚明. 野外搜救机器人系统设计 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2017: 1-78.
- 莫雄, 连涛, 蔡定邦, 等. 基于热成像的FPV无人机搜救系统设计 [J]. 电脑知识与技术, 2019, 15 (35): 192-193.

- 31 成建波. 基于声呐浮标的大型无人机搜潜效能分析 [J]. 声学与电子工程, 2023 (1): 37-40.
- 32 岑文星, 王云江, 石莎, 等. 一种基于AI视觉的微型无人机: CN110109478A [P]. 2019-08-09.
- 33 高升, 吴航, 曲鹏涛, 等. 野战医疗方舱自动对接系统设计与实现 [J]. 军事医学, 2022, 46 (5): 328-333.
- 34 徐武夷, 杨文, 卢旺盛. 机器人远程手术研究状况与展望 [J]. 转化医学杂志, 2015, 4 (2): 94-96.
- 35 尹丰, 田增民, 王田苗, 等. 第五代立体定向机器人系统的临床应用研究 [J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2008, 13 (8): 355-357.
- 36 崔萌, 马晓东, 张猛, 等. 智能开颅手术机器人系统在开颅手术中应用的实验研究 [J]. 中华神经外科杂志, 2020, 36 (1): 73-77.
- 37 赵欣然, 苏卫华, 张世月. 轮腿可变搜救机器人轮腿综合与仿真分析 [J]. 医疗卫生装备, 2020, 41 (6): 15-20.
- 38 吴灿烽, 王田苗, 田佳文, 等. 无人救援机器人的设计与实现 [J]. 机械设计与制造, 2018 (5): 236-238.
- 39 Zhao ZX, Zhang YC, Shi JL, et al. Robust lidar-inertial odometry with ground condition perception and optimization algorithm for UGV [J]. Sensors, 2022, 22 (19): 7424.
- 40 Chen GP, Jiang Y, Tang YJ, et al. Revised adaptive active disturbance rejection sliding mode control strategy for vertical stability of active hydro-pneumatic suspension [J]. ISA Trans, 2023, 132: 490-507.
- 41 Jiang Y, Xu XJ, Zhang L, et al. Model free predictive path tracking control of variable-configuration unmanned ground vehicle [J]. ISA Trans, 2022, 129 (Pt A): 485-494.
- 42 Lv JL, Qu CX, Du SF, et al. Research on obstacle avoidance algorithm for unmanned ground vehicle based on multi-sensor information fusion [J]. Math Biosci Eng, 2021, 18 (2): 1022-1039.
- 43 Wu YQ, Li YZ, Li WH, et al. Robust lidar-based localization scheme for unmanned ground vehicle via multisensor fusion [J]. IEEE Trans Neural Netw Learn Syst, 2021, 32 (12): 5633-5643.
- 44 Xu Q, Wang G, Li Y, et al. A comprehensive swarming intelligent method for optimizing deep learning-based object detection by unmanned ground vehicles [J]. PLoS One, 2021, 16 (5): e0251339.
- 45 Peng YT, Niu XJ, Tang J, et al. Fast signals of opportunity fingerprint database maintenance with autonomous unmanned ground vehicle for indoor positioning [J]. Sensors, 2018, 18 (10): 3419.
- 46 Zhou K, Lei SS, Du XZ. Modelling and dynamic analysis of slippage level for large-scale skid-steered unmanned ground vehicle [J]. Sci Rep, 2022, 12 (1): 16014.

(责任编辑: 施晓亚, 武建虎, 潘越)

(上接第915页)

- 33 Cui BQ, Qi ZY, Liu WJ, et al. ZBP1-mediated PANoptosis: A possible novel mechanism underlying the therapeutic effects of penicillidine hydrochloride on myocardial ischemia-reperfusion injury [J]. Int Immunopharmacol, 2024, 137: 112373.
- 34 Wu XY, Wei JJ, Zhang WF, et al. Targeting the PANoptosis signaling pathway for myocardial protection: therapeutic potential of Xian Ling Gu Bao capsule [J]. Front Pharmacol, 2024, 15: 1391511.
- 35 Li J, Zhang XQ, Ren P, et al. Landscape of RNA-binding proteins in diagnostic utility, immune cell infiltration and PANoptosis features of heart failure [J]. Front Genet, 2022, 13: 1004163.
- 36 Jia YF, Liu YY, Zuo YM, et al. The potential therapeutic prospect of PANoptosis in heart failure [J]. J Inflamm Res, 2024, 17: 9147-9168.
- 37 Onódi Z, Ruppert M, Kucsera D, et al. AIM2-driven inflammasome activation in heart failure [J]. Cardiovasc Res, 2021, 117 (13): 2639-2651.
- 38 Chen HK, Xie XW, Xiao HZ, et al. A pilot study about the role of PANoptosis-based genes in atherosclerosis development [J]. J Inflamm Res, 2023, 16: 6283-6299.
- 39 Song YM, Lou B, Wang HT, et al. Screening and validation of atherosclerosis PAN-apoptotic immune-related genes based on single-cell sequencing [J]. Front Immunol, 2024, 15: 1297298.
- 40 Lei YM, Yan R, Gao YD, et al. Cholesterol crystals activate NLRP3 inflammasomes and promote gallstone formation by increasing mucin secretion [J]. Biotech Histochem, 2022, 97 (7): 546-553.
- 41 Wei YY, Lan BD, Zheng T, et al. GSDME-mediated pyroptosis promotes the progression and associated inflammation of atherosclerosis [J]. Nat Commun, 2023, 14 (1): 929.
- 42 Xu X, Zhu YX, Niu YT, et al. PANoptosis is a prominent cell death feature in thoracic aortic aneurysm or dissection [J]. Exp Cell Res, 2024, 442 (2): 114247.
- 43 Quintana RA, Taylor WR. Cellular mechanisms of aortic aneurysm formation [J]. Circ Res, 2019, 124 (4): 607-618.
- 44 Ye JL, Qiu WY, Pang XY, et al. Polystyrene nanoplastics and cadmium co-exposure aggravated cardiomyocyte damage in mice by regulating PANoptosis pathway [J]. Environ Pollut, 2024, 347: 123713.
- 45 Xie XP, Wang KX, Shen XY, et al. Potential mechanisms of aortic medial degeneration promoted by co-exposure to microplastics and lead [J]. J Hazard Mater, 2024, 475: 134854.

(责任编辑: 施晓亚, 潘越)