

基于 AnyLogic 智能仿真平台的灾害救治可扩展病房人力与设备资源配置模型研究

宋慧娜¹, 何露斯¹, 李胜男¹, 彭碧波¹, 高相楠¹, 赵欣¹, 律苗²

¹解放军总医院第三医学中心门诊部, 北京 100039; ²解放军总医院医疗保障中心远程医学科, 北京 100039

摘要: **背景** 近年来全球自然灾害频发, 灾害医学救援体系面临严峻挑战, 其中可扩展病房作为灾后救治的核心载体, 其资源配置效率直接决定了应急救援效果。**目的** 构建灾害救治可扩展病房医护人力与设备资源配置模型, 为灾害医学救援提供科学依据。**方法** 基于 AnyLogic 多智能体建模, 构建伤员智能体属性集, 设计可扩展病房医疗处置结构, 建立医护人力与医疗设备智能体交互规则。通过模拟仿真不同规模伤员情景下的医疗救治过程, 分析医护人力配比、医疗设备需求, 验证模型的有效性。**结果** 伤员智能体属性集包含 5 个维度: 伤情类别、伤情程度、救治优先级、入院与出院状态和处置时间。基于对灾害救援场景的典型负荷分级考量参考方舱医院运行效率的数据(60~680 人次/d)设定低负荷、最优负荷、高负荷、超负荷 4 个级别伤员规模, 轻度伤情病房医护患比 1:8:50、中度伤情病房医护患比 1:4:20、重伤情病房医护患比 1:1:2 时, 医护资源利用率最优, 平均等候时间最短。日均接诊 200 人次时救治完成率达 95% 以上, 设备配置以保温毯、止血绷带等基础器材为核心, 重伤情病房需增配呼吸机、除颤仪等设备。**结论** 基于 AnyLogic 的可扩展病房资源配置模型可有效指导灾害医学救援中的医护人力与设备动态配置, 能够在一定程度上提高救治效率。

关键词: 灾害医学; 可扩展病房; 医护人力配置; 医疗设备; AnyLogic; 多智能体模型

中图分类号: R179.39; R129

文献标志码: A

文章编号: 2095-5227(2025)09-0903-07

DOI: 10.12435/j.issn.2095-5227.25022804

引用本文: 宋慧娜, 何露斯, 李胜男, 等. 基于 AnyLogic 智能仿真平台的灾害救治可扩展病房人力与设备资源配置模型研究 [J]. 解放军医学院学报, 2025, 46 (9): 903-909.

Research on healthcare human resources and equipment configuration of scalable wards for disaster relief based on AnyLogic

SONG Huina¹, HE Lusi¹, LI Shengnan¹, PENG Bibo¹, GAO Xiangnan¹, ZHAO Xin¹, LYU Miao²

¹Outpatient Department, the Third Medical Center of PLA General Hospital, Beijing 100039, China; ²Department of Telemedicine, Medical Support Center, PLA General Hospital, Beijing 100039, China

Corresponding author: LYU Miao. Email: 6573877549@qq.com

Abstract: Background In recent years, frequent natural disasters worldwide have posed severe challenges to disaster medical rescue systems. Among these, scalable wards serve as the core component for post-disaster medical treatment, and the efficiency of their resource allocation directly determines the effectiveness of emergency rescue operations. **Objective** To establish a configuration model for healthcare human resources and equipment in scalable wards for disaster relief, and provide scientific basis for disaster medical rescue. **Methods** Based on AnyLogic multi-agent modeling, casualty agent attribute sets were constructed, scalable ward medical treatment structures were designed, and interaction rules between medical staff and equipment agents were established. The effectiveness of the model was verified by simulating medical treatment processes under different casualty scenarios and analyzing healthcare staff ratio and medical equipment requirements. **Results** The injured agent attribute set included five dimensions: injury category, injury degree, treatment priority, admission and discharge status, and disposal time. Based on the typical load classification of disaster rescue scenarios and referring to the data of the transport efficiency of the cabin hospital (60-680 person times/day), the medical resource utilization rate was the best and the average waiting time was the shortest when the ratio of doctors and patients in mild injury ward was 1:8:50, that in moderate injury ward was 1:4:20, and that in severe injury ward was 1:1:2. The completion rate of treatment was more than 95% when the average number of daily visits was 200. The

收稿日期: 2025-02-28

基金项目: 联勤保障部队装备军内科研课题(LB20211A010018)

第一作者: 宋慧娜, 副主任护师。Email: songhuina@163.com

通信作者: 律苗, 副主任技师。Email: 3031017954@qq.com

equipment configuration was centered on basic equipment such as thermal insulation blanket and hemostatic bandage. The severe injury ward needed to be equipped with ventilator, defibrillator and other equipment. **Conclusion** The AnyLogic-based scalable ward resource configuration model can effectively guide dynamic allocation of healthcare human resources and equipment in disaster medical rescue, thereby improving treatment efficiency.

Keywords: disaster medicine; scalable ward; healthcare staffing; medical equipment; AnyLogic; multi-agent model

Cited as: Song HN, He LS, Li SHN, et al. Research on healthcare human resources and equipment configuration of scalable wards for disaster relief based on AnyLogic[J]. Acad J Chin PLA Med Sch, 2025, 46(9): 903-909.

近年来,全球自然灾害频发,灾害医学救援挑战日益严峻。据统计,灾后72 h内的医疗救治效率直接影响28%~35%的死亡率^[1]。可扩展病房作为应对灾害一种灵活、高效的医疗资源调配模式,能根据伤情规模动态调整医疗服务能力^[2-3]。但目前关于灾害情景下可扩展病房资源配置的研究存在明显不足:多基于静态假设,参数耦合不足,缺乏对灾害类型差异化的动态建模^[4]。美国国家灾难医疗系统的灾害医疗救援队采用模块化配置思想,具有较高的机动性和适应性^[5-6],但其资源配置多依赖经验判断而非定量模型。虽然日本学者基于地理信息系统构建了动态分配模型^[7],但对病房内部资源优化关注不足。世界卫生组织紧急医疗队分类标准为灾害医疗资源配置提供了框架^[8],但缺乏针对不同伤情结构的差异化配置方案。国内研究主要集中在基于模糊综合评价^[9]、马尔可夫决策^[10]等方法的资源配置模型,这些模型虽有一定理论价值,但多为宏观层面,对微观层面医疗救治过程中医患互动、资源消耗的动态特性刻画不足。AnyLogic的全称是“AnyLogic Simulation Software”,是一款多方法、多领域的仿真建模软件,使用多种建模方法(如离散事件仿真、系统动力学、基于智能体的建模)来构建复杂的仿真模型,特别适合构建具有多个智能主体间复杂交互的系统模型^[11]。本研究基于AnyLogic构建灾害救治可扩展病房医护人力与设备资源配置模型,通过多智能体建模方法模拟医疗救治过程中医护人员、设备与伤员的动态交互,为灾害医学救援中医疗资源科学配置提供理论支撑。

1 研究方法

1.1 AnyLogic模型构建

本研究基于AnyLogic 8.7.5构建可扩展病房模型。图1模型的核心流程始于“伤员智能体”的生成,这些智能体进入“可扩展病房医疗处置结构”后,系统根据其属性进行分诊,并将其分配至轻、中、重三类伤情病房。在各病房中,伤员与“医护人力智能体”和“医疗设备智能体”依据预设

的“核心交互规则”进行互动,完成救治过程。模型由这3个核心组件及其交互规则构成。

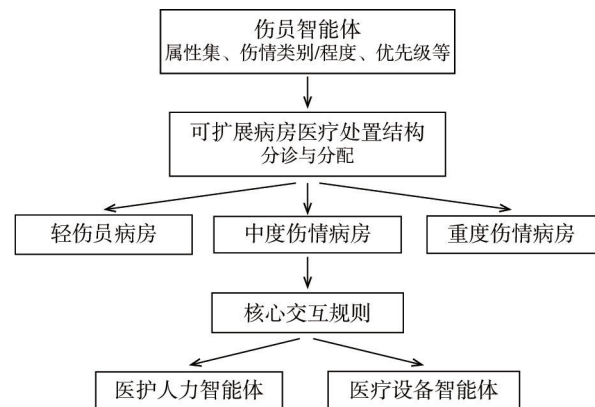


图1 基于AnyLogic可扩展病房模块化医疗处置结构图

Fig. 1 Modular medical treatment structure diagram based on AnyLogic expandable wards

1.1.1 伤员智能体属性集 基于近五年国内外灾情数据和相关文献^[12-14],构建伤员智能体属性集,包含5个维度:(1)伤情类别:创伤、烧烫伤、挤压伤、毒剂中毒和核辐射伤等;(2)伤情程度:轻度(30%~40%)、中度(30%~35%)和重度(10%~35%);(3)救治优先级:依据伤情紧急程度设定;(4)入院与出院状态:反映伤员救治节点和流向;(5)处置时间:包括常规医疗处置时间和紧急医疗处置时间。

1.1.2 可扩展病房结构与参数设定 根据方舱医院运行经验^[15]和国家相关标准^[16],设计模块化可扩展病房结构,分为重伤情病房、中度伤情病房和轻伤情病房。病房扩展采用指数增长模型 $N=N_0(1+r)^t$,其中 $r=0.1$,同时预留10%冗余病房^[17]。三类病房的基本配置参数见表1。

1.2 仿真基础数据设置

1.2.1 医疗处置时间参数 根据灾害医学救援实践数据^[18-19],确定医疗处置时间参数。常规医疗处置时间服从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$,波动范围为-0.2~0.2;紧急医疗处置时间服从对数正态分布 $\text{LogN}(\mu, \sigma^2)$,波动范围为-0.05~0.7。代表性处置时间见表2。

1.2.2 医疗资源分类 按照医疗资源使用特性^[20],

表 1 模块化病房配置参数

Tab. 1 Configuration parameters of modular wards

病房类型	床位规模(床/间)	医护比	主要收治对象	核心医疗处置
重伤情病房	2	1:1:2	创伤性休克、严重颅脑损伤、多发伤	气道管理、心肺复苏、创伤控制复苏
中度伤情病房	4	1:4:20	轻中度颅脑损伤、骨折、中度烧伤	伤口处理、液体复苏、骨折固定
轻伤情病房	6	1:8:50	轻微创伤、擦伤、轻度烧伤	简易包扎、伤口清创、药物治疗

表 2 代表性医疗处置时间参数

Tab. 2 Representative medical treatment time parameters

处置类别	创伤止血 (min)	骨折固定 (min)	颅脑损伤 (min)	烧伤处理 (min)	心肺复苏 (min)
常规处置	5~10	15~25	30~45	10~20	30~60
紧急处置	3~5	10~15	15~30	5~15	10~30

将资源分为释放型(如医护人员)和占用型(如病床、设备)。释放型资源处置完一名伤员后可继续用于下一名伤员, 占用型资源在伤员使用期间被占用, 直至伤员出院或转诊时释放。基本救治指标设计为: 轻伤员到达率88例/d, 服务率12 min/例; 中度伤员到达率72例/d, 服务率25 min/例; 重伤员到达率40例/d, 服务率45 min/例。

1.3 模型仿真流程与场景设计

为验证模型有效性并探究不同压力水平下的

系统表现, 本研究设计了覆盖4种典型负荷水平的仿真实验。仿真流程如下:

1.3.1 场景设定 基于灾害救援实践和文献数据^[12-15], 设定4种日接诊量场景以模拟不同强度的伤员涌入压力: 低负荷(60例次/d)、最优负荷(200例次/d)、高负荷(340例次/d)和超负荷(680例次/d)。该梯度化设置旨在全面评估模型在资源充足、理想、紧张及极限状态下的性能表现。

1.3.2 参数输入 在AnyLogic软件中, 根据各场景设定伤员到达率, 并配置医护人力与医疗设备等基础资源参数。见图2。

1.3.3 仿真运行 对每个场景组合, 独立重复运行仿真30次, 以消除随机性带来的影响。

1.3.4 数据采集与分析 在仿真过程中系统性地采集关键绩效指标, 包括各类型伤员救治完成率、



图 2 软件运行参数设置界面图

Fig. 2 Interface diagram of software running parameter setting

医护资源利用率和伤员平均等候时间。

1.3.5 结果评估 将采集到的数据进行统计学分析,以评估不同配置方案在不同负荷下的效率,从而为资源优化提供依据。

1.4 统计学方法

所有数据采用SPSS26.0进行分析。计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示。为比较4种不同伤员规模(60、200、340、680例次/d)下救治完成率的均值是否存在显著差异,本研究采用单因素方差分析。为确定伤员规模与基础及专业设备需求量之间的相关性,采用Pearson相关分析。检验水准 $\alpha=0.05$,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 可扩展病房医护人力配置分析

为确定最优的医护人力配置,本研究首先在固定的日均接诊量(200例次/d)下,对不同医护患比组合进行了多轮仿真对比。结果显示当重伤情病房医护患比为1:1:2、中度伤情病房为1:4:20、轻伤情病房为1:8:50时,系统的医护资源利用率最高,且伤员平均等候时间最短。基于此最优配置,我们进一步研究了不同伤员规模对救治效率的影响,见表3。

表3 模拟不同伤员规模下救治效率指标

Tab. 3 Treatment efficiency indicators under different casualty scales

伤员人数 (例次/日)	轻度伤员 救治完成 率(%)	中度伤员 救治完成 率(%)	重度伤员 救治完成 率(%)	医师利 用率(%)	护士利 用率(%)	平均等 候时间 (min)
60	100	100	100	40.2	38.5	4.2
200	98.7	97.5	95.4	85.3	87.5	8.3
340	72.5	75.8	88.7	95.8	97.4	16.7
680	55.2	62.5	75.4	100	100	25.6

方差分析结果 $F=15.72, P<0.01$ 。

根据方差分析结果,不同伤员规模下救治完成率差异有统计学意义($F=15.72, P<0.01$)。经优化分析得出最佳医护比配置,见表4。医护人力配置与救治完成率的方差分析结果显示,不同伤员规模下救治完成率存在差异有统计学意义($F=15.72, P<0.01$)。在不同医护比条件下,重伤情病房医护患比为1:1:2、中度伤情病房医护患比为1:4:20、轻伤情病房医护患比为1:8:50时,

表4 不同病房最佳医护比配备

Tab. 4 Optimal healthcare staffing configuration for different ward types

病房类型	最优医护患比	资源利用率	等候时间
重伤情病房	1:1:2(医:护:患)	最高	最短
中度伤情病房	1:4:20(医:护:患)	最高	最短
轻伤情病房	1:8:50(医:护:患)	最高	最短

在上述最优医护比条件下,医护资源利用率最高,平均等候时间最短。

医护资源利用率最高,平均等候时间最短。

2.2 可扩展病房医疗设备需求分析

为精细化分析设备需求,本研究将医疗设备分为两类:基础设备,指维持伤员基本生命体征、进行常规伤口处理与护理所必需的、在所有类型病房中均需普遍配置的通用性耗材和器械。其需求量通常与收治伤员总数呈强相关性。例如,止血绷带、输液装置、保温毯等。专业设备,指用于特定重症监护、有创操作、生命支持或精确诊断的需求量与伤情严重程度高度相关的专用型设备。这类设备通常技术含量较高,主要配置于中、重度伤情病房。例如,呼吸机、除颤仪、心电监护仪等。对不同类型病房的设备需求评分。通过相关分析,伤员规模与基础设备需求量呈强正相关($r=0.875, P<0.01$),与专业设备需求则呈中等相关($r=0.625, P<0.05$)。见表5、表6。

各病房对基础设备(如止血绷带、输液装置)均有较高需求,且需求量随伤情加重显著上升,对于专业设备(如心电监护仪、呼吸机、除颤仪)需求存在显著差异。如轻伤病房每10床需要约50卷止血绷带、30套输液装置和10副夹板,而重伤病房每10床则需约100卷止血绷带、50套输液装置和20副夹板。专业设备(如心电监护仪、呼吸机、除颤仪等)的需求存在显著差异:轻伤病房对这类设备需求较低,中度和重伤病房则显著增加。如每10床重伤病房需10台心电监护仪、4台呼吸机和2台除颤仪,而轻伤病房仅需1台便携式心电监护仪且基本无需呼吸机。总之,伤情越严重,对专业设备的依赖程度越高,设备使用频率也相应提高。

根据以上数据分析形成模块化病房分级设备配置建议方案,见表7。模块化病房分级设备配置建议方案(每10床配置数量)。基础设备包括保温毯、止血绷带、输液装置、夹板、血压计、体温计、氧气袋等,各伤情病房均需配置但数量随伤

情加重而增加(例如重伤病房每10床配置保温毯30条、止血绷带100卷,远高于轻伤病房的20条和50卷)。专业设备方面,轻伤病房仅配置少量便携式设备(如1台便携式心电监护仪、2套手术装备);中度病房则增加了心电监护仪(5台)、吸氧装置(8套)、手术装备(5套)及1台便携X线机;重伤病房配置最为齐全,包括10台心电监护仪、4台呼吸机、2台除颤仪、10套吸氧装置、5套手术装备、2台便携X线机,并可根据需要配置CT设备。

表5 基础设备在不同类型病房的需求度对比 ($\bar{x} \pm s$)

Tab. 5 Demand for basic equipment in different types of wards ($\bar{x} \pm s$)

设备名称	轻伤情病房(间)	中度伤病情病房(间)	重伤情病房(间)	r值	P值
止血绷带、换药包/个	10±2.3	20±4.1	30±5.7	0.800	0.005
输液装置/套	12±2.9	25±5.3	35±6.8	0.850	0.001
保温毯/个	5±1.2	10±2.5	15±3.5	0.751	0.01
血压计/听诊器/个	4±0.9	6±1.3	8±1.9	0.702	0.03
血糖测量仪/台	2±0.5	4±1.1	6±1.7	0.650	0.05
夹板/个	15±3.6	30±6.4	45±8.2	0.902	0.001
吸氧装置/个	7±1.6	14±3.3	21±5.1	0.791	0.01
吸痰装置/个	5±1.1	10±2.4	15±3.6	0.762	0.015

表6 专业设备在不同类型病房的需求度对比 [$M(IQR)$]

Tab. 6 Demand for professional equipment in different types of wards [$M(IQR)$]

设备名称	轻伤情病房(间)	中度伤病情病房(间)	重伤情病房(间)	与伤情等级相关性(r)	P值
心电监护仪/台	1(0,2)	8(6,10)	18(15,21)	0.830	0.002
输液泵/台	1(0,2)	2(0,4)	20(16,24)	0.810	0.006
除颤仪/台	1(1,1)	2(1,3)	3(2,4)	0.680	0.060(e)
呼吸机/台	0(0,0)	1(1,1)	36(32,40)	0.960	0.003
气胸封闭贴/台	3(2,4)	5(4,6)	7(6,8)	0.720	0.040
胸腔穿刺包/个	2(1,3)	4(3,5)	6(5,7)	0.690	0.050
静脉切开包/个	3(2,4)	6(5,7)	9(8,10)	0.770	0.025
气管切开包/个	1(1,1)	2(1,3)	3(2,4)	0.710	0.050
环甲膜穿刺包/个	1(1,1)	2(1,3)	3(2,4)	0.660	0.070(e)

表7 模块化病房分级设备配置建议方案

Tab. 7 Graded equipment configuration recommendation for modular wards

设备类别	轻伤情病房	中度伤病情病房	重伤情病房
基础设备 ^a /个	保温毯(20)、止血绷带(50)、输液装置(30)、夹板(10)、血压计(2)、体温计(5)	保温毯(30)、止血绷带(80)、输液装置(40)、夹板(20)、血压计(5)、体温计(10)、氧气袋(10)	保温毯(30)、止血绷带(100)、输液装置(50)、夹板(20)、血压计(10)、体温计(10)、氧气袋(20)
专业设备 ^a /个	便携式心电监护(1)、手术装备(2)	心电监护仪(5)、吸氧装置(8)、手术装备(5)、便携X线机(1)	心电监护仪(10)、呼吸机(4)、除颤仪(2)、吸氧装置(10)、手术装备(5)、便携X线机(2)、CT(可选)

^a每10床配置数。

3 讨论

近年来全球自然灾害频发,灾害医学救援体系面临严峻挑战。可扩展病房作为灾后救治的核心载体,其资源配置效率直接决定了应急救援效果。然而,现有研究多基于静态假设,缺乏对灾害类型差异化和资源动态交互的精细建模。本研究基于AnyLogic多智能体建模技术,构建了灾害救治可扩展病房医护人力与设备资源配置模型,旨在为灾害医学救援提供科学的资源配置依据。通过模拟不同伤员规模下的救治过程,本研究确定了轻、中、重伤情病房的最优医护患比(分别为1:8:50、1:4:20、1:1:2),并量化了不同负荷下(日均接诊60、200、340、680例次)的救治完成率、资源利用率和等候时间。同时,研究明确了基础设备与专业设备在不同伤情病房的分层配置需求,形成了模块化的设备配置建议方案。

在医护人力配置方面,本研究发现在最优负荷(200例次/日)下,轻、中、重伤情病房分别采用1:8:50、1:4:20、1:1:2的医护患比时,资源利用率最高且平均等候时间最短。这一发现与现有方舱医院的实践经验基本吻合^[3,23]。特别是重伤情病房1:1:2的高密度医护配置,与杨宝义等^[22]关于重症患者需要高密度照护的研究结论基本一致,强调了对于危重伤员,充足的医护人员是保障救治质量和效率的关键。然而,相较于国际上依赖经验判断的配置模式(如美国国家灾难医疗系统),本研究通过动态仿真提供了量化的优化依据,避免了主观性。

在医疗设备配置方面,本研究通过仿真分析清晰地区分了基础设备与专业设备的需求模式。结果表明,基础设备(如保温毯、止血绷带、输液装置)是所有病房的通用需求,且需求量随伤情加重而显著增加。这与WHO紧急医疗队分级标准中关于基础生命支持设备普遍配置的建议相符。对

于专业设备(如心电监护仪、呼吸机、除颤仪),需求则呈现明显的伤情分层特征:轻伤病房需求极低,中度病房需配置基础监测与治疗设备,重伤病房则高度依赖生命支持与高级诊疗设备。这种分层配置方案相较于国内基于模糊综合评价或马尔可夫决策的宏观模型^[9-10],更精细地刻画了设备需求与伤情严重程度的动态关联,为资源精准投放提供了微观层面的指导。

本研究构建的基于AnyLogic多智能体模型的资源配置方法,相较于传统模型显示出一些优势。首先,采用多智能体建模方法,能够更真实地模拟医护人员、伤员与设备之间的复杂动态交互过程,克服了静态模型参数耦合不足的缺陷。其次,模块化的病房结构设计赋予了模型良好的可扩展性,可根据实际灾害情景和伤员结构灵活调整参数,如通过病房扩展模型($N=N_0(1+r)^t$)动态扩容。再次,动态仿真分析提供了直观的资源利用和效率指标(如救治完成率、等候时间),为决策者提供了量化的优化依据,其有效性得到了与Bartenschlager等研究标准(等待时间<15 min)相符的结果支持^[21]。这些优势是传统的宏观配置模型或基于GIS的空间分配模型^[7]所难以实现的。

本研究尚存在一定局限性。首先,模型中的关键参数(如伤员属性分布、医疗处置时间)部分基于历史数据和专家经验,在实际应对特定灾害(如化学泄漏、核辐射)时,可能需要根据现场情况进行校准和调整。其次,模型主要聚焦于病房内部的资源配置优化,未充分考虑外部环境因素(如交通状况、天气条件、后勤补给)对伤员到达率和资源调配效率的潜在影响。再次,仿真场景虽然覆盖了4种典型负荷水平,但未能涵盖所有可能的灾害类型(如海啸、恐怖袭击)及其特有的伤情结构变异,模型在极端或特殊灾害情景下的适用性仍需进一步验证。

未来的研究可在以下方向深入探索:一是将动态交通网络模型整合进来,模拟伤员转运和资源补给过程,构建更完整的“院前-院内”一体化资源动态调配体系;二是增加伤情演变模块,模拟伤员在救治过程中伤情恶化或好转的动态过程,使资源配置更具前瞻性和适应性;三是探索整合物联网和实时数据采集技术,提升模型对灾害现场动态信息的感知与响应能力;四是开发基于边缘计算的轻量化模型版本,提升在野外恶劣或网络受限环境下的部署与应用可行性。

综上所述,本研究基于AnyLogic多智能体建模构建的灾害救治可扩展病房资源配置模型,通过动态仿真揭示了轻、中、重伤情病房的最优医护配置比例(1:8:50, 1:4:20, 1:1:2)和差异化的设备需求层次,为灾害医学救援中医护人力和医疗设备的科学、动态配置提供了有效的量化工具和理论支撑。该模型在日均接诊200例次的最优负荷下展现出高效能(救治完成率>95%,等候时间<10min),其模块化设计和动态仿真优势有助于提升灾害医疗救援的资源利用效率和整体响应能力。

作者贡献 何露斯:论文撰写;宋慧娜:审读和修订,监督指导;律苗:审读和修订。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突。

数据共享声明 本论文相关数据可依据合理理由从作者处获取,Email: 657377549@qq.com。

参考文献

- 1 朱有祥. 形成联调联战机制 全力实现快速救援 [N]. 中国应急管理报, 2024-12-06 (6).
- 2 Su WX, Chen LY, Gao X. Emergency decision making: a literature review and future directions [J]. Sustainability, 2022, 14 (17): 10925.
- 3 檀德亮, 黄荷. 可扩展全数字智能化病房医护呼叫信息系统: CN212343861U [P]. 2021-01-12.
- 4 Tsuda N, Unno N, Nishigaya Y, et al. Development and application of a large-scale disaster preparedness system in the perinatal field [J]. Int J Gynaecol Obstet, 2023, 162 (1): 333-338.
- 5 Wang J, Sun XL, Lu SH, et al. Disaster preparedness and associated factors among emergency nurses in Guangdong Province, China: a descriptive cross-sectional study [J]. Disaster Med Public Health Prep, 2021, 17: e65.
- 6 Adeniji A, Anderson C III, Klemann M, et al. Enhancing patient transport systems in the U. S. department of defense's national disaster medical system (NDMS) pilot program [J]. Disaster Med Public Health Prep, 2024, 18: e185.
- 7 Bazyar J, Farrokhi M, Salari A, et al. The principles of triage in emergencies and disasters: a systematic review [J]. Prehosp Disaster Med, 2020, 35 (3): 305-313.
- 8 Caldera HJ, Wirasinghe SC. A universal severity classification for natural disasters [J]. Nat Hazards, 2022, 111 (2): 1533-1573.
- 9 周志航, 彭炜东, 张元栋, 等. 一种基于AHP-模糊综合评价模型的水电机励磁系统状态评估优化方法: CN120181639A [P]. 2025-06-20.
- 10 朱焯均, 张闯, 魏文波, 等. 基于动态卸粮阈值优化马尔可夫决策模型的多机协同作业策略 [J]. 农业机械学报, 2025, 56 (6): 187-195.
- 11 Law AM. How to build valid and credible simulation models [C] //2022 Winter Simulation Conference (WSC). December 11-14, 2022, Singapore. IEEE, 2023: 1283-1295.
- 12 严丽军. 自然灾害的灾情信息集成: 理论与实证研究 [D]. 上海: 上海师范大学, 2016.
- 13 张岚, 李娟, 陈静雯, 等. 基于微博的强对流天气灾情信息

- 提取与分析:以江苏2021年“4·30”强风雹天气为例 [J/OL]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFD&filename=SJWJ20250822001>.
- 14 耿蔚, 崔甲, 杨杰, 等. 融合遥感与大数据技术对四川盆地城市洪涝灾害时空动态监测与评估的应用 [J]. 高原山地气象研究, 2025, 45 (S1): 69-74.
- 15 周云皓, 李静, 张维娇, 等. 方舱医院的医疗设备物联网部署方案设计 [J]. 医疗装备, 2025, 38 (12): 19-24.
- 16 姚光琳. 构建标准化病房在提升病区质量管理中的应用 [J]. 承德医学院学报, 2020, 37 (1): 88-90.
- 17 王姗姗. 数字化医院门急诊医疗质量管控方法研究 [D]. 广州: 南方医科大学, 2013.
- 18 张磊, 唐士懋, 范璐敏. 浅谈公立医院医疗设备处置管理体系的优化与探讨 [J]. 生物医学工程学进展, 2025, 46 (2): 194-202.
- 19 Bazyar J, Farrokhi M, Khankeh H. Triage systems in mass casualty incidents and disasters: a review study with a worldwide approach [J]. Open Access Maced J Med Sci, 2019, 7 (3): 482-494.
- 20 孙克, 邹佳男, 胡佳城, 等. 我国医疗资源利用效率的空间分异及驱动因素分析 [J]. 中国卫生经济, 2023, 42 (6): 51-55.
- 21 Palese P. Profile of Charles M. rice, ralf F. W. bartenschlager, and Michael J. Sofia, 2016 lasker-DeBakey clinical medical research awardees [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2016, 113 (49): 13934-13937.
- 22 杨宝义, 马士崧, 徐淑秀, 等. 重症监护病房患者家属疾病不确定感与其看护需求的相关性研究 [J]. 蚌埠医学院学报, 2015, 40 (11): 1578-1581.
- 23 应朝宇, 周颖, 程时栋, 等. 移动方舱医院的建设与运行管理探讨 [J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2025, 20 (3): 389-392.

(责任编辑:施晓亚,潘越)

(上接第902页)

- 17 Ogino K, Zhang R, Takahashi H, et al. Allergic airway inflammation by nasal inoculation of particulate matter (PM2.5) in NC/Nga mice [J]. PLoS One, 2014, 9 (3): e92710.
- 18 Ma J, Chiu YF, Kao CC, et al. Fine particulate matter manipulates immune response to exacerbate microbial pathogenesis in the respiratory tract [J]. Eur Respir Rev, 2024, 33 (173): 230259.
- 19 Tao RJ, Cao WJ, Li MH, et al. PM2.5 compromises antiviral immunity in influenza infection by inhibiting activation of NLRP3 inflammasome and expression of interferon- β [J]. Mol Immunol, 2020, 125: 178-186.
- 20 郭志强, 赵仁伍, 章如新, 等. PM2.5对变应性鼻炎模型鼻黏膜炎症因子及病理学的影响 [J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2019, 54 (5): 362-366.
- 21 Piao CH, Fan YJ, Nguyen TV, et al. PM2.5 exacerbates oxidative stress and inflammatory response through the Nrf2/NF- κ B signaling pathway in OVA-induced allergic rhinitis mouse model [J]. Int J Mol Sci, 2021, 22 (15): 8173.
- 22 Niu LL, Li LP, Xing C, et al. Airborne particulate matter (PM2.5) triggers Cornea inflammation and pyroptosis via NLRP3 activation [J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2021, 207: 111306.
- 23 Iordache A, Boruga M, Musat O, et al. Relationship between allergic rhinitis and allergic conjunctivitis (allergic rhinoconjunctivitis) - review [J]. Rom J Ophthalmol, 2022, 66 (1): 8-12.
- 24 Yuan JS, Liao ZH, Zhu XH, et al. PM2.5 exacerbates nasal epithelial barrier dysfunction in allergic rhinitis by inducing NLRP3-mediated pyroptosis via the AhR/CYP1A1/ROS axis [J]. J Hazard Mater, 2025, 492: 138145.
- 25 Kalangara JP, Vanijcharoenkarn K, Chisolm S, et al. Neuropathic pain and itch: mechanisms in allergic conjunctivitis [J]. Curr Opin Allergy Clin Immunol, 2022, 22 (5): 298-303.
- 26 Gao XW, Zhang XM, Liu HY, et al. Mechanism of interaction between ocular and nasal neurogenic inflammation in allergic rhinoconjunctivitis [J]. Int Ophthalmol, 2019, 39 (10): 2283-2294.
- 27 Meng YF, Lu HS, Wang CS, et al. Naso-ocular neuropeptide interactions in allergic rhinoconjunctivitis, rhinitis, and conjunctivitis [J]. World Allergy Organ J, 2021, 14 (5): 100540.
- 28 Zhang JX, Yan Y, Jiang FF, et al. Main airborne pollen species and characteristics of allergic rhinitis patients with pollen-related allergies in 13 northern Chinese Cities [J]. J Asthma Allergy, 2024, 17: 757-768.
- 29 Salcan S, Salcan I. The correlation between air pollution and the allergic rhinitis incidence: Erzincan model [J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2023, 27 (2 Suppl): 51-56.

(责任编辑:孙菲,迟素敏)