

基于多智能体的医疗船护理人力资源配置仿真建模研究

张倩,翁艳秋,陆小英,张玲娟

(海军军医大学第一附属医院 护理部,上海 200433)

【摘要】 目的 对计算机仿真方法在医疗船护理人力资源配置测算中的应用可行性和优化方案进行探究。方法 采用多智能建模方法描述和分析不同主体行为对系统效果的影响,采用离散事件仿真对伤员在医疗船的流转过程进行描述和呈现。结果 在5 d 伤员流入400人情况下:0级海况下,54人护士编配方案可满足伤员护理需求;4级海况下,89人护士编配方案可满足伤员护理需求。结论 本研究开发的具有开放面板、可视化的仿真模拟系统,为医疗船护理人力资源管理提供了全新方法和实验平台。护理管理者应综合考虑多主体的交互影响,通过对多主体指标参数预判,确定护理人力资源配置的最优方案。

【关键词】 护理人力资源配置;医疗船;仿真建模

doi:10.3969/j.issn.2097-1826.2023.01.012

【中图分类号】 R473.82;R823 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 2097-1826(2023)01-0049-04

Research on Multiagent-Based Simulation Modeling of Nursing Staff Allocation on Medical Ship

ZHANG Qian, WENG Yanqiu, LU Xiaoying, ZHANG Lingjuan (Department of Nursing, First Affiliated Hospital of Naval Medical University, Shanghai 200433, China)

Corresponding author: ZHANG Lingjuan, Tel: 021-31162989

【Abstract】 Objective To explore the application feasibility and optimization scheme of computer simulation method in the calculation of nursing staff allocation on medical ship. **Methods** Anylogic software was used for simulation modeling, and the multi-agent modeling method was used to describe and analyze the influence of agents' behavior on the system effect. Discrete event simulation was used to describe and present the process of the wounded on the medical ship. **Results** Under the condition of 400 patients flow in 5 days, 54 nurses could meet the nursing needs of the patients under the level 0 sea state. Under level 4 sea state, 89 nurses could meet the nursing needs of the wounded. **Discussion** The simulation system with open panel and visualization developed in this study provides a new method and experimental platform for the nursing human resource management of medical ships in wartime. Nursing managers should comprehensively consider the interaction of multi-agents and determine the optimal plan of nursing human resource allocation by predicting the parameters of multi-agent indicators.

【Key words】 nursing staff allocation; medical ship; simulation modeling

[Mil Nurs, 2023, 40(01): 49-52]

医疗船是远海海区“快速反应的卫勤保障平台”^[1],可极大满足远海条件下伤员留治及护理需求。护理人员作为医疗船实施伤员救护的重要力量,承担着检伤分类、紧急救治、手术配合、术后监护和伤员留治后护理工作,护理人员的精准配置对提高伤员救治护理需求起到重要作用。当前,医疗船护理人力资源配置仍然建立在通常做法、演习训练抽组经验以及专家论证的基础上^[2],缺乏基础性的系统规律研究。基于多智能体建模的计算机仿真

方法可关注系统的多主体性,有助于深入探索研究问题的内在规律,并可解决特殊情境模拟困难的难题,目前已较多应用于卫勤作战决策支持^[3-5]。本研究首次采用多主体仿真建模技术还原医疗船伤员护理模式,对护理人力资源配置进行动态分析,以期护理人力配置优化提供决策平台和实证依据。

1 方法与步骤

1.1 基于多智能体的系统概念模型

1.1.1 系统边界界定 本课题聚焦在医疗船护理人力资源配置策略的优选,因此系统将伤员救护流转节点和边界定位于分类后送组、手术组、重症监护组、重伤救治组、收容处置组、烧伤救治组等与护理内容密切相关的功能组室,见图1。

【收稿日期】 2022-09-19 **【修回日期】** 2022-12-01

【基金项目】 军事医学创新工程专项(18CXZ010)

【作者简介】 张倩,博士,主管护师,电话:0532-51885512

【通信作者】 张玲娟,电话:021-31162989

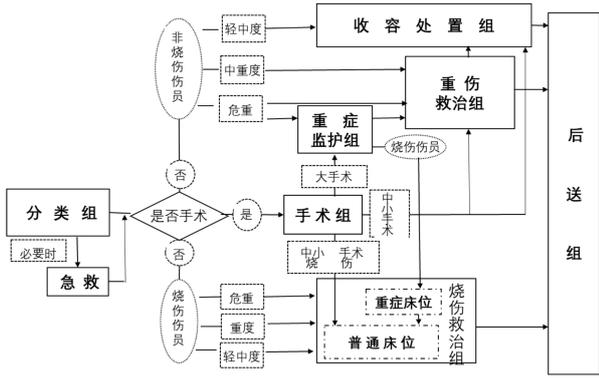


图1 医疗船护理人力资源配置系统边界图

1.1.2 基于多智能体的系统概念模型 医疗船护理人力资源配置概念模型包含了护理人力资源配置主体框架和结局指标两大部分,见图2。在护理人力资源配置主体框架中,包括3个异质主体(护士、伤员、组织)和1个辅助主体(环境)。护士主体、伤员主体和组织主体,通过各自行为规则及与其他主体间的交互影响来调整护理人力资源的配置;环境主体作为辅助主体,对3个异质主体的行为产生辅助影响,从而促进护理人力资源配置的调整。护士、伤员、组织和环境4个主体间的行为交互构成了医疗船护理人力资源配置的源动力,也决定了医疗船护理产出指标的水平。系统、全面分析各主体属性、行为规律及主体间行为交互机制,实现护理供方和需方的拟合匹配,最终促进护理产出指标达到正性最大化,是医疗船护理人力资源配置优化的重要策略。

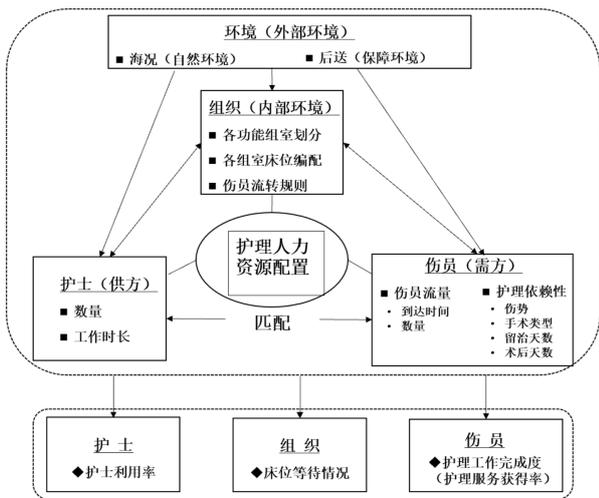


图2 医疗船护理人力资源配置系统概念模型

1.2 建模方法及软件平台 以 Anylogic 软件作为构建仿真系统的平台,采用多主体建模方法,描

述和分析不同主体行为对系统效果的影响,采用离散事件仿真对伤员在医疗船流转过程进行描述和呈现。

1.3 模型设计与实现

1.3.1 智能体参数设置 模型参数包含护士、伤员、组织和环境4个智能体等参数,参考课题组前期研究成果和已有文献成果进行参数设定。到达医疗船的伤员总数为400人,伤势分类划分为:轻伤30%~40%、中等伤30%~35%、重伤25%~30%^[6],手术率为伤员通过量的60%,手术类型分为大、中、小手术3类,3类手术比例为:1:1:1^[7]。系统运行时长和伤员产生时间为5d,系统仿真模拟持续10d,伤员到达服从泊松分布。为分析0级海况和4级海况下护理人力的优化配置,将护士配置总数依次设定为45、54、77、89,各组室护士编配数量见表1。

表1 0级和4级海况下护士配置方案

功能组室	床位数量 (张)	护士人数(人)			
		默认方案	方案A	方案B	方案C
收容处置组	136	8	9	13	15
重伤救治组	129	11	13	18	21
重症监护组	30	3	5	10	12
烧伤救治组					
普通床位	69	5	7	12	15
重症床位	18	1	2	4	4
手术组	18	15	16	18	20
分类后送组	0	2	2	2	2
总计	400	45	54	77	89

1.3.2 观测指标 各功能组室护士利用率=满足伤员护理时数的护士人数(最大值不超过该组护士总人数)/护士人数,护理工作完成度(伤员护理服务获得率)=24h护士可提供的护理工时/伤员24h护理时数。医疗船在护理人力资源配置过程中,应综合护理完成度和护理人力资源利用率两方面考量,既要保证护理工作的完成,又要保证护理人员的作业强度。基于文献研究、质性访谈和专家论证,特殊时期医疗船护理工作完成度至少在80%以上,为防止护理人员在救治工作中出现疲劳作业,护士利用率不应持续4d以上超过80%。

1.3.3 主要函数和变量 仿真系统共包含各类参数17个、变量26个、方法23个、软件插件14个。

1.4 仿真模型检验 考虑到本模型内容无法通过现实系统来拟合验证,故本研究利用模型重复运行的输出结果来验证模型有效性。模拟0级海况下运行100次后,输出结果的最大绝对误差均可接受,表

示模型稳定性好。

2 结果

2.1 默认方案仿真模拟运行结果 默认方案下系统运行结果显示,0 级海况下,除分类后送组外,其

他各组从运行初期(1~2 d)开始达到护理人力利用率和护理工作完成度的临界值(80%),并在随后较长时间内未能得到有效的缓解,说明各组护士数量不足。见表 2、表 3。

表 2 默认方案和方案 A 护理工作完成度(%)变化情况

功能组室	配置方案	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d
收容处置组	默认方案	100.00	100.00	92.17	64.98	53.74	76.14	100.00
	方案 A	100.00	100.00	87.21	72.13	74.92	98.69	100.00
重伤救治组	默认方案	100.00	100.00	90.81	67.94	83.43	98.39	100.00
	方案 A	100.00	100.00	100.00	100.00	93.40	95.81	100.00
重症监护组	默认方案	100.00	48.77	52.44	90.08	100.00	73.68	79.30
	方案 A	100.00	100.00	76.68	88.79	100.00	100.00	100.00
烧伤救治组(普通床位)	默认方案	100.00	100.00	46.11	50.38	85.17	79.77	50.14
	方案 A	100.00	100.00	56.29	71.20	100.00	100.00	92.37
烧伤救治组(重症床位)	默认方案	100.00	100.00	39.30	48.34	49.46	65.40	68.44
	方案 A	100.00	100.00	86.86	93.21	89.43	100.00	100.00
手术组	默认方案	100.00	88.33	67.16	70.85	100.00	100.00	100.00
	方案 A	100.00	100.00	78.58	88.57	100.00	100.00	100.00
分类后送组	默认方案	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	方案 A	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

表 3 默认方案和方案 A 护士利用率(%)变化情况

功能组室	配置方案	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d
收容处置组	默认方案	0	37.50	100.00	100.00	100.00	100.00	75.00
	方案 A	0	55.56	100.00	100.00	100.00	100.00	66.67
重伤救治组	默认方案	0	36.36	100.00	100.00	100.00	100.00	81.82
	方案 A	0	38.46	84.62	100.00	100.00	81.00	78.00
重症监护组	默认方案	0	100.00	100.00	100.00	66.67	100.00	100.00
	方案 A	0	80.00	100.00	100.00	40.00	60.00	60.00
烧伤救治组(普通床位)	默认方案	0	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	方案 A	0	85.71	100.00	100.00	71.43	100.00	100.00
烧伤救治组(重症床位)	默认方案	0	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	方案 A	0	50.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
手术组	默认方案	0	100.00	100.00	100.00	80.00	53.33	0
	方案 A	0	81.25	100.00	100.00	72.50	50.00	0
分类后送组	默认方案	0	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	0
	方案 A	0	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	0

2.2 干预实验结果 与默认方案相比,0 级海况下运行方案 A 后,各组室护理工作完成度均得到明显提升,虽仍有组室护理工作完成度低于 80%,但在 1 d 内基本能得到有效缓解。各功能组室的护士利用率亦控制在可接受的范围。见表 2 和表 3。4 级海况下,方案 A(54 人)无法满足伤员护理需求。通过逐步实验结果,方案 C 在满足伤员护理需求更为优化,虽然各组室护理工作完成度和护士利用率仍存在不满足临界值情况,但都在可接受范围内,且在短时间内能得到有效缓解。

2.3 实验结论 当伤员流入 400 人次时:0 级海况下,方案 A(54 人)可满足伤员护理需求;4 级海况下,方案 C(89 人)可满足伤员护理需求。基于此,建

议在一般海域执行医疗船任务时护士配置区间范围为 54~89 人,各组室护士分布数量见表 4。卫勤指挥者和护理管理者可在该区间范围内确定最佳的人数。

3 讨论

3.1 本研究开发仿真软件的应用前景 本研究首次将多主体建模和计算机仿真技术应用到战时护理研究领域,基于医疗船护理人力资源配置概念框架,开发了具有开放面板、可视化、稳定的仿真模拟系统,为提高特殊时期护理管理科学化、精准化水平提供了全新方法和实验平台。下一步可将本护理系统模型引入当前医疗船海战伤救治信息系统网络中,通过伤员护理数据信息与其他医疗信息、卫勤信息的融

合,建立起更大范围内主体间的链接和反应机制,如可根据规模、数量、半径、医疗资源配备、伤员转运条件等,预测并提前部署护理人力资源,并适时调整。

表 4 护理人力资源配置区间

组别	床位数量(张)	0级海况(人)	4级海况(人)
分类后送组	0	2	2
收容处置组	136	9	15
重伤救治组	129	13	21
烧伤救治组			
普通床位	69	7	15
重症床位	18	2	4
重症监护组	30	5	12
手术组	18	16	20
总数	400	54	89

3.2 医疗船护理人力资源配置系统的多主体性
医疗船护理人力资源配置系统具有复杂适应性系统的聚集性、非线性、多样性等特性,是一个典型的多主体复杂适应性问题。在课题组前期研究基础上,本研究构建的系统纳入护士、伤员、组织和环境4个主体,主体间的行为交互会实现各主体状态的改变。因此,护理管理者在人力编配时,应综合考虑多个主体状态及指标参数,通过提前对任务类型、天数、减员趋势、功能组室床位配置、海域海况、后送保障等多因素的预判,从而确定护理人力资源配置的最优方案。

3.3 不同海况下护理人力资源配置存在差异
本研究通过4轮干预实验,逐步调整0级海况和4级海况下不同功能组室的护士数量,结果显示,两种海况条件下护理人力配置方式存在明显差异。由于海况的多变性和反复性,本次实验课题组考虑仅采用特定海况下的护士编配方式会出现人力不足或过剩情况。为提高护理救治工作的应对弹性,建议一般海域中护士配置数量应结合两种海况下配置方式进行设定,护士配置数量区间范围为54~89人。此外,重症监护组、烧伤救治组和手术组床位数量不足,且通过调整各组室护士数量无法有效改善床位等待情况,提示管理指挥部门应考虑进一步优化相应组室的床位编配。

3.4 本模型结论的信度
本研究采用模型与美军

编制实际对比的方法分析结论的信度。美军医疗船(“仁慈号”)留治床位1000张,美军在历次战争历史数据分析基础上,编配护理人员168人,并根据伤员伤势设定功能组室的床护比,ICU病房约2~3:1,普通收容病房为6~10:1^[8~9]。本研究以减员数据作为背景想定,模拟了400人次伤员流入,在得到的优化方案中,重症监护组和烧伤重症床位的床护比在2~4:1,收容处置组的床护比在4~10:1,与实战经验较为丰富的发达国家的实际编配具有较好的一致性。此外,分析本研究结论中床护比比美军实际编配略高的原因,可能与本研究中未纳入协助性工作所需护理人力有关。

3.5 下一步研究方向
由于研究时间和精力限制,为了便于仿真模拟,本次研究对模型主体做了部分简化和假设,还需在未来演训实践中不断验证、完善和优化;同时,本次研究成果仅提供了与伤员护理直接相关的护理人力预测,未考虑其他岗位、其他协助性工作所需护士人数。在今后研究中,可以考虑将此部分内容纳入,使其更加贴近真实系统。

【参考文献】

[1] 李大伟,杨晓斌,孙涛.美海军医院船功能定位与启示[J].人民军医,2016,2(59):134-135.
 [2] 沈俊良.卫生船舶勤务管理与使用[M].上海:同济大学出版社,2009:84-92.
 [3] 郝泉雄,黄朝晖,王云贵.基于智能体的陆军合成部队战现场急救建模研究[J].军事医学,2018,6(42):401-405.
 [4] MATTHEW F. Medical evacuation and treatment capabilities optimization model(METCOM) [D]. California: Naval postgraduate school,2005.
 [5] 江帅,邵辉,马建威,等.陆军旅救护所人员编配优化建模研究[J].军事医学,2018,42(6):406-409.
 [6] 周世伟.联合卫生勤务学[M].北京:军事医学科学出版社,2009:184.
 [7] 曹保根,沈俊良,刘兴明,等.海上医疗后送计算机模拟系统基础数据量化研究[J].海军医学杂志,2002,23(4):296-300.
 [8] 唐洪钦,黄毅雄,陈瑞丽,等.美国海军“仁慈”号医院船护理见闻与启示[J].中华损伤与修复杂志,2014,6(9):688-689.
 [9] NEGUS T, BROWN C, KONOSKE P J. Determining hospital ship staffing requirements for humanitarian assistance missions [R]. San Diego, California, Naval Health Research Center,2006.

(本文编辑:陈晓英)

欢迎登陆《军事护理》

(原《解放军护理杂志》)投稿平台

http://cpnj.smmu.edu.cn