

DOI:10.16781/j.0258-879x.2016.07.0890

· 海洋军事医学 ·

# 基于美军 TML+ 的 海军海上卫勤保障模拟仿真研究现状分析

吕奕鹏, 薛晨, 葛阳, 刘威, 张鹭鹭\*

第二军医大学卫生勤务学系卫生勤务学教研室, 上海 200433

**[摘要]** 信息化战争带来的变革对海军卫勤保障提出了快速筹划、准确部署的要求。基于数字化仿真技术的卫勤模拟以其成本可控、贴近实战等优点,成为各国海军关注和研究的热点。本文通过对美军卫勤模拟仿真系统研发情况和战术卫勤规划工具(Tactical Medical Logistics Planning Tool, TML+)模拟仿真系统关键技术进行分析,从 TML+各个模块构建的过程原理出发,着重探究我海军建设卫勤仿真系统中取得的成果及重点和难点问题,为我海军后续海上医疗后送仿真研究提供借鉴。

**[关键词]** 海上卫勤保障;仿真系统;战术卫勤规划工具

**[中图分类号]** R 821.8 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2016)07-0890-05

## Analysis of U. S. Army TML+ based navy medical support simulation on the sea

LÜ Yi-peng, XUE Chen, GE Yang, LIU Wei, ZHANG Lu-lu\*

Department of Health Service, Faculty of Health Services, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

**[Abstract]** The revolution of information war demands fast planning and accurate allocation for naval medical support. The medical support simulation based on digital simulation technology has become a research focus for navies of many countries due to its controllable cost, and it is close to the actual war combat. In this paper we analyzed the key techniques of the American naval medical support simulation system, especially the Tactical Medical Logistics Planning Tool (TML+). Based on the rationale of each module of TML+, we mainly explored the achievements and problems in establishing medical support simulation system for Chinese navy, hoping to provide reference for improving our military health simulation system.

**[Key words]** naval medical support; simulation system; Tactical Medical Logistics Planning Tool

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2016, 37(7): 890-894]

自海湾战争以来,高技术局部战争成为现代战争的主要作战形式,基于信息化的局部战争实现了短时、高效、精确打击的目的,但由此带来的资源消耗、战前准备成本也大大增加。信息化战争带来的变革对卫勤保障提出了快速筹划、准确部署的要求,特别是在复杂海况下的卫勤保障。基于数字化仿真技术的卫勤模拟以其成本可控、贴近实战等优点,日益引起了各国军队的注意。尤其是美国海军自 20 世纪 70 年代开始逐步采用仿真手段解决伤病员后送问题,在 20 世纪 90 年代统筹开发建设了一系列卫勤模拟仿真技术和软件。时至今日,其战时卫勤保障模拟仿真技术日趋成熟并实际运用于战场卫勤

筹划。本文通过对美军卫勤模拟仿真研发情况及其关键技术展开分析,对比研究我军现行的海上卫勤模拟仿真技术的特点和难点,以期为我军海上卫勤模拟仿真建设提供重要借鉴。

### 1 美海军卫勤仿真技术研究现状

美军卫勤模拟仿真技术的发展经历了初步探索、多元发展和统筹建设 3 个阶段。在第 1 阶段,美军从海上卫勤保障核心的伤病员后送问题着眼,开发了模拟美海军两栖作战医疗后送的计算机模型<sup>[1]</sup>。在该模型成功应用之后,各类卫勤仿真软件如雨后春笋,层出不穷。在第 2 阶段,美军基于其多

**[收稿日期]** 2016-03-06 **[接受日期]** 2016-04-14

**[基金项目]** 军队“十二五”重大专项(AWS12J002),国家自然科学基金重点项目(71233008),国家自然科学基金重大研究计划项目(91224005),上海市卫生系统重要疾病联合攻关项目(2013ZYJB0006)。Supported by PLA Major Project of the “12<sup>th</sup> Five-Year Plan”(AWS12J002), Key Project of National Natural Science Foundation of China (71233008), Major Plan of National Natural Science Foundation of China (91224005), and Program of Joint Funds for Major Diseases of Health System of Shanghai Municipality (2013ZYJB0006).

**[作者简介]** 吕奕鹏, 博士生. E-mail: epengl@163.com

\* 通信作者 (Corresponding author). Tel: 021-81871421, E-mail: zllrmit@aliyun.com

次作战收集的战伤数据开发了战伤编码(Patient Condition Codes),该编码为各类仿真软件的开发提供了极为重要的基础数据支撑,并针对减员预计开发了地面伤员预测系统(Ground Casualty Projection System,FORECAS)等<sup>[2]</sup>。同时,为解决卫勤保障中的救治链和卫生资源筹集的问题,美军开发了卫勤计划和执行系统(Medical Planning and Execution System,MEPES)和后勤处理程序-医疗模块(External Logistics Processor-Medical Module,LPX-MED)<sup>[3]</sup>。

为解决各仿真软件相互兼容的问题,减少卫勤仿真重复建设造成的资源浪费,美国国防部于1995年公布指南,决定建立一个广泛的、高性能的、一体化的国防模拟和仿真综合技术框架,即高层体系结构(High Level Architecture,HLA)<sup>[4]</sup>,后被北约各国采纳,并被电气和电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronics Engineers,IEEE)接受为标准。此后美国逐步淘汰了所有非HLA相容项目,并停止了相应的所有资助。在这样的框架下,美军开发了联合作战仿真系统、扩展防空仿真系统,战士仿真系统等3大类(分析、训练和装备采购)、4层次(战略层、战役层、战术层和技术层)的仿真模拟系统,而其卫勤模拟仿真就是其中的重要组成部分。近几年美军重点研发的卫勤指挥模拟仿真系统包括战术卫勤规划工具(Tactical Medical Logistics Planning Tool,TML+)、预计消耗程序(Estimating Supplies Program,ESP)和联合医疗分析工具(Joint Medical Analysis Tool, JMAT)等。其中TML+由海军卫生研究中心(NHRC)主导开发,是目前美军应用最为广泛的战术卫勤保障分析仿真软件<sup>[5-6]</sup>。该软件是为美海军和海军陆战队卫勤保障设计,能进行包括伤员发生、医疗后送、医疗救治的全过程全要素模拟,同时能够开展物资消耗评价、医疗资源部署结构优化和战场卫勤保障方案筹划等,对我海军的卫勤保障模拟仿真具有重要借鉴意义。因此本文重点针对其关键技术进行分析,并按照其模块划分比对我军相应的卫勤仿真软件建设情况进行梳理。

1.1 TML+的模块构建 美军TML+能够模拟从伤员流发生开始,经过各级救治机构的救治及后送,直至最后康复或死亡的过程。其核心是4大模块:伤员发生模块、医疗救护模块、医疗后送模块和数据生成模块<sup>[7-10]</sup>。

1.1.1 伤员发生模块 该模块基于以往作战所得

的伤员伤情数据库和发生比例模型,随机产生不同伤情的伤员,进入后续模块进行救治和后送模拟。在该模块中,伤员伤情及发生概率的基础量化数据成为极其重要的基础支持。其伤情库的质量在很大程度上直接决定了模拟仿真的拟合效果。TML+产生伤员的方式有3种:平均发生、非均衡发生以及自定义发生<sup>[5-6]</sup>。多样化的伤员发生速率设定使得该模型可以根据不同作战样式伤员发生的时间特点进行相应的模拟,更加符合现实作战环境下伤情发生规律。

1.1.2 医疗救治模块 该模块模拟伤员发生后进入救治机构的救治和等待过程。美军TML+已经较为完善,不但能对救治过程时间、救治效果进行宏观模拟,也能够对伤员救治过程中的卫生物资消耗、人员配置分析进行更为微观的模拟。其逻辑结构为伤员到达该级医疗机构后按照组室设置进行伤员分类和救治的模拟,救治过程按照通用任务序列(general task sequence,GTS)进行不同伤员伤情救治先后顺序排序,按照伤情库中每种伤情信息对应的医疗任务、资源消耗、人员配置等要求进行资源消耗的分析和统计,最后输出伤员并记录其在该救治单位消耗的治疗和等待时间以及治疗结果。

1.1.3 医疗后送模块 该模块模拟了伤员从作战现场到各级医疗机构的后送过程,该过程包含了逐级后送和越级后送的内容。其逻辑结构为:按照默认的5类战术层级医疗后送路线,结合不同后送工具的荷载能力、空载和满载速度、后送等待时间等,依据不同伤情伤员的后送原则进行模拟。

1.1.4 数据报告模块 该模块主要生成整个模拟完成后的结果报告。包括详细的伤病员等待时间和处置结果、卫生资源消耗、医务人员和后送工具的利用率等。其包含了原始数据表、存储查询和图形用户界面查询3层结构,帮助卫勤决策者根据报告结果修改其卫勤保障预案,促进卫勤保障水平的提升。

在后期的开发建设中,TML+还集成了地理信息系统(GIS),完成了卫勤仿真的可视化,在医疗后送网络拓扑图的基础上直观显示卫勤保障设置和模拟结果。总体而言,美军战术卫勤规划工具技术成熟,模拟结果贴近实战。

1.2 TML+的应用 美军TML+广泛应用于美军战前卫生资源筹划、卫生减员预计等战前准备工作中。同时美军在TML+指导手册中明确指出该工具的主要应用范围包括:(1)TML+可在预定背景下预测伤员流发生,依此预估预设医疗机构能否

满足特定特征的伤员流救治,分析不同救治机构之前的距离对伤员救治的影响,针对预期伤员流的发生合理设定医疗救护人员、后送工具以及药品供给,比较不同救治机构布局对伤员的救治效果;(2) TML+可用于制定不同类型的卫勤保障计划,战前根据预期伤员流制定医疗机构分布及分级救治网络,战时针对突发应急事件制定危机处理方案,跟踪分析患者医疗救治及其后送事件等。

## 2 我海军卫勤保障模拟仿真技术的建设

相较于美军成熟的卫勤仿真建设,我军的卫勤信息化保障水平还在起步阶段。在这个阶段,我军利用后发优势,参照美军 TML+技术,在模拟仿真的技术和软件的开发上进行了许多有益的探索和实践。

2.1 伤情库及伤员发生 基于实战数据的伤情库是卫勤模拟仿真技术开发的核心和基础。在伤情数据库构建方面,我军目前开展的研究陆上作战伤情数据主要以美军伤情编码为基础,结合我军朝鲜战争、对越自卫反击战卫生工作资料,进行一定的修改和完善。曹保根等<sup>[11]</sup>针对海上医疗后送模拟开展了基础数据的量化研究。伤员按照伤类(9类)、伤势(轻、中、重和危重4类)和伤部(头部伤、面部伤、颈部伤、胸部伤、腹部伤、上肢伤、下肢伤和多处伤8类)进行划分,并描述了海上和水际滩头发生的伤部构成比例,确定了每项伤情的预期存活时间和经救治后预期存活时间;此外还详细地分析了换乘、后送、救治、气象、海况等对伤员存活时间的综合影响。该研究结果是目前海上卫勤伤病基础数据量化研究中最为详尽的研究之一。杜海舰<sup>[12]</sup>按照伤类、伤势和伤型相结合的方法,建立了37种主要战伤种类。同样按照“时效救治”原则,以战伤救治的时间轴为主线,确立不同伤情各阶段所需采用的救治措施(紧急非手术、紧急手术、早期非手术、早期手术、专科非手术、专科手术6类)及相应处置之后的预期寿命。其伤类库数据结构内容包括伤类序号、伤类、发生概率、自然寿命、急救寿命修正、伤势、后送体位、救治措施及相应的处置时间和寿命修正,基本囊括了医疗后送模拟技术开发的所有基础数据,但其伤病发生概率直接采用了美军伤类统计数据。张凯<sup>[13]</sup>在美军伤病编码基础上构建了343类伤病员基础数据及其救治优先等级、后送体位、生命威胁程度、救治措施流程等信息,并通过专家调研按照伤病员生命威胁程度分类,构建了相应的生存概率曲线,开发了伤员发生器。此外,邓月仙等<sup>[14]</sup>、秦超等<sup>[15]</sup>分析了

城市作战、山地进攻作战和边境作战下的减员影响因素,建立了减员的时间序列模型。孙海安等<sup>[16]</sup>设计了伤员发生系统,可根据卫勤训练的具体要求产生不同伤情,模拟战场伤员受伤情况。

在伤情库基础数据的建立中,我国研究者进行了很多有益的尝试,基本明晰了海上卫勤模拟仿真所需的数据结构。但是由于我军缺乏海上作战历史伤病数据,建立伤病信息特别是发生伤病概率分布时缺少参考,大多以美军数据或者是我军地面作战数据作为参考依据,而这一特点将直接影响建立的模型与实战的拟合程度。

2.2 医疗救治及卫生资源消耗分析 医疗救治是卫勤模拟仿真技术中的难点。医疗救援链条与伤员流密切相关,不同救治单位的救治任务、编组结构、卫生资源部署都存在着较大的差异。医疗救援模拟也是直接区分卫勤模拟仿真详细程度、实用价值的关键环节。MedModel是目前我军针对卫勤保障医疗救治研究中常用的一款软件,该软件是由美国某公司专门针对医疗卫生系统提供的用于建立系统模型的仿真和动画工具。赵建军等<sup>[17]</sup>开展了基于MedModel的野战医疗所手术流程仿真模型及应用研究。王世锋等<sup>[18]</sup>进行了基于MedModel的援潜救生医疗队救治流程的模型仿真研究。王猛等<sup>[19]</sup>使用MedModel仿真分析软件,根据医疗系统现有配置及救治方案建立了大型舰船医疗系统救治流程仿真模型。

利用MedModel软件开展的模型建立过程较为简便快捷,对于理清不同作战样式下战时卫勤保障救治流程有积极意义,但是由于该模型主要用于医院日常诊治流程的优化,其模型本身与战时卫勤保障的复杂性还存在着一定的差距。张凯等<sup>[20]</sup>分析了我国野外救治机构伤病员的救治流程,采用模块化救治的理论,探讨伤病员产生、生存过程和救治过程的模拟方法。以常规陆地作战中师救护所救治任务为例进行分析,理清救治机构职能范围、内部编组和伤员流,利用三角分布描述各救治过程的时间分布特征。

总体而言,由于战场疾病发生的复杂性,不同伤情在各救治机构又接受不一样的救治流程和措施,使得战场卫勤保障救治较为复杂,而海上卫勤保障的医疗救治流程就显得更为多样。要理清某一作战样式下发生伤情的全部救治流程并进行相应的模拟仿真就显得较为困难。美军在救治模拟中精细到各个伤情的诊断救治流程、手术样式、药品消耗等,而

我军在此方面的研究就显得较为宏观,多将救治单位模块化处理,使得建模过程更加直观和明晰,但是也在一定程度上影响了模拟的效果。此外,我军目前针对常规作战伤情还没有相应的检查、药品等标准要求,医疗物资消耗也常在模拟过程中省略。

2.3 医疗后送模拟 医疗后送的时效性直接影响战场伤员救治质量,因此医疗后送的模拟仿真研究成为卫勤模拟研究的热点。医疗后送过程不能抛开各救治节点开展救治的过程,所以关于海上医疗后送的模拟仿真研究应注重后送,兼顾救治。曹保根和沈俊良<sup>[21-22]</sup>较早开展了海上医疗后送的模拟仿真研究。他们将海上医疗后送系统按不同区域和不同阶段分解为若干个子系统,通过对其模拟实现对海上医疗后送系统的模拟。齐亮等<sup>[23-24]</sup>以医院船为节点,按照我军现行的海上医疗后送体制为框架,分别利用蒙特卡洛进行离散事件模拟和系统动力学对后送流程开展仿真,模拟海上伤病员医疗后送中的伤员流,以找出限制性关键因素,进行路径优化和资源调整。秦超等<sup>[25-27]</sup>引入运筹学选址优化方法,建立基于随机性集合覆盖模型解决后送运力优化配置的理论模型,分析探讨了伤病员后送中的若干不确定因素,包括后送工具的可获得性、后送工具的容量及速度、有效工作时间等,为后续开展动态后送模拟仿真提供了重要的基础支撑。杜海舰和张凯等<sup>[12-13, 20, 28-30]</sup>对陆上医疗后送流程动态模拟做了较为详尽的研究,综合考虑伤员后送过程中的系统结构,包括救治机构、后送工具、伤员伤类影响等,考察后送过程中的伤员期望寿命变化、预后情况等,利用离散事件仿真和时间步长等关键模拟手段,较为详细地模拟了陆上战术区伤员后送模拟的全过程,并开发了战时伤员后送工具配置可视化仿真系统和软件。

### 3 主要问题和建议

目前,我国参照美海军卫生研究中心研发的战术卫勤规划工具 TML+开展了大量有益的尝试,通过借鉴国外先进的卫勤模拟仿真技术,结合我军作战和伤情特点,开发了一系列模拟仿真软件和系统,取得了积极的成就。但是就我海军卫勤保障建模和仿真而言,还存在着一些不足。

3.1 海上卫勤保障模拟仿真研究不足 目前,针对陆上战术区作战卫勤保障的伤员库建立、伤情判断、伤员后送、伤员救治关键技术开展的研究较为丰富,为陆上卫勤模拟提供了坚实的基础。但是,我海军卫勤保障中各要素、全流程的基础数据量化研究不

够充实,还不能很好地支持海上卫勤保障仿真技术的研发。而相应的海上医疗后送建模研究也只是在早期取得了一定的成果,其多将整个后送系统进行模块化划分,并无成体系的全流程海上医疗后送模拟研究,后续研究缺如。此外,伤病谱的构建是海上卫勤保障模拟仿真研究的基石。伤病谱的详细程度将会直接影响后送、救治模拟的可靠性与真实性。在之前的研究中普遍借鉴了美军伤情编码和我军几项公开战伤伤情数据,其数据的时效性能否满足我军现代化海战特点需要进一步探讨,建议在后续研究中结合现代武器致伤原理及卫勤专家咨询等信息综合分析。

3.2 建模技术标准不统一 如前文所述,我军在卫勤保障模拟技术开发上处于百花齐放的阶段,各类仿真技术和建模方法被广泛应用,但还未出现一套被普遍认可、贴近实战的模拟技术,评价标准也未统一。其次,国内研究者使用了包括 MedModel、Somio 和 ARENA 等面向对象的模拟软件以及 C++、VB 等系统编程软件,但是互相之间的兼容性较差,不同研究之间不能够很好地融合共享,导致研究出现重叠,“烟囱”现象比较突出,给下一步一体化分布交互式模拟系统带来了很大的困难<sup>[31]</sup>。如能统一标准,基于一体化平台开发建设,可以很好地避免系统兼容和资源浪费问题,形成优势互补,强强联合。

3.3 模型实证检验与应用不充分 模拟为实战服务,仿真软件要应用于部队实际演习训练中,才能检验其模型的拟合程度和效果。因此,加强与部队的联系,检验海上卫勤保障模拟仿真系统的有效性并不是开发过程中的一项锦上添花之作,而是必须开展的一项步骤。

### [参考文献]

- [1] KIM S C, HOROWITZ I. Scheduling hospital services: the efficacy of elective-surgery quotas [J]. *Omega*, 2002, 30: 335-346.
- [2] LITVAK N, VAN RIJSBERGEN M, BOUCHERIE R J, VAN HOUDENHOVEN M. Managing the overflow of intensive care patients [J]. *Eur J Operat Res*, 2008, 185: 998-1010.
- [3] COCHRAN J K, BHARTI A. Stochastic bed balancing of an obstetrics hospital [J]. *Health Care Manag Sci*, 2006, 9: 31-45.
- [4] 张国强,邱晓刚. 基于 HLA 的作战仿真导调系统的设计实现 [J]. *计算机仿真*, 2006, 22: 35-39.
- [5] BROCK J, ADLICH S, LOWE D, MITCHELL R, PARKER J, KONOSKE P, et al. TML+, Tactical

- Medical Logistics Planning Tool, User's Manual 4.1 [M]. San Diego: Naval Health Research Center, 2006.
- [6] KONOSKE P, GALARNEAU M, PANG G, BROCK J, LOWE D, MITCHELL R, et al. TML+ Tactical Medical Logistics Planning Tool Version 2.0[M]. San Diego: Naval Health Research Center, 2004.
- [7] KONOSKE P. Tactical Medical Logistics Planning Tool: Modeling Operational Risk Assessment [M]. San Diego: Naval Health Research Center, 2004.
- [8] MITCHELL R, GALARNEAU M, HANCOCK B, LOWE D. Modeling Dynamic Casualty Mortality Curves in the Tactical Medical Logistics (TML+) Planning Tool[M]. San Diego: Naval Health Research Center, 2004.
- [9] MITCHELL R, ONOFRIO K, KONOSKE P, BROCK J, PARKER J. Ship to Objective Maneuver (STOM): Medical Analysis Using the NHRC Tactical Medical Logistics (TML+) Planning Tool in Support of the Marine Corps Warfighting Laboratory (MCWL) [M]. San Diego: Naval Health Research Center, 2005.
- [10] MITCHELL R, PARKER J, GALARNEAU M, KONOSKE P. Empirical Analysis of Operation Iraqi Freedom Combat Mortality Using the Navy-Marine Corps Combat Trauma Registry Expeditionary Medical Encounter Database for Applications to Tactical Medical Logistics Modeling and Simulation[M]. San Diego: Naval Health Research Center, 2009.
- [11] 曹保根,沈俊良,刘巽明,吴国南,朱昌吉. 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: 296-300.
- [12] 杜海舰. 基于 GIS 的医疗后送模拟及后送工具配置研究[D]. 北京: 解放军军事医学科学院, 2007.
- [13] 张凯. 战时伤病员医疗后送及卫生装备配置仿真研究[D]. 北京: 解放军军事医学科学院, 2012.
- [14] 邓月仙, 秦超, 李瑞兴, 彭海文, 江雷. 蒙特卡罗模拟在城市进攻战斗减员预计风险分析中的应用[J]. 第二军医大学学报, 2008, 29: 826-828.
- DENG Y X, QIN C, LI R X, PENG H W, JIANG L. Monte Carlo Simulation in risk analysis of battle casualty forecasting in urban aggressive military action [J]. Acad J Sec Mil Med Univ, 2008, 29: 826-828.
- [15] 秦超, 陈国良, 李瑞兴, 程旭东, 刘建. 集团军山地进攻作战减员预计模型[J]. 中国管理科学, 2004, 12: 124-127.
- [16] 孙海安, 刘晓荣, 刘宏鸣, 沙琨, 陈国良, 刘飞. 一体化卫勤训练模拟伤员发生系统的研究与应用[J]. 医疗卫生装备, 2012, 33: 11-12.
- [17] 赵建军, 江雷, 王重, 彭海文, 任晓谦, 秦超. 基于 MedModel 的野战医疗所手术流程仿真模型及应用[J]. 解放军医院管理杂志, 2009, 16: 529-531.
- [18] 王世锋, 范维, 王慧玲, 方以群, 江雷, 吕传禄, 等. 基于 MedModel 的援潜救生医疗队救治流程仿真应用[J]. 第二军医大学学报, 2013, 34: 1147-1150.
- WANG S F, FAN W, WANG H L, FANG Y Q, JIANG L, LÜ C L, et al. Process of submarine medical rescue based on MedModel: a simulation application research [J]. Acad J Sec Mil Med Univ, 2013, 34: 1147-1150.
- [19] 王猛, 于东方, 沈俊良, 赵红旗, 倪健. 基于 MedModel 的大型舰船医疗系统仿真与优化[J]. 医疗卫生装备, 2014, 35: 9-12.
- [20] 张凯, 伍瑞昌, 王运斗, 郭立军, 王兴永. 野外救治机构伤病员救治建模与仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2014, 26: 936-941.
- [21] 曹保根, 沈俊良. 海上医疗后送系统计算机模拟方法研究[J]. 海军医学杂志, 2001, 22: 252-253.
- [22] 曹保根, 沈俊良. 海上医疗后送系统计算机模拟模型研究[J]. 海军医学杂志, 2000, 21: 214-217.
- [23] 齐亮, 刘晓荣, 范晨芳, 陈国良, 贺祥. 系统动力学在海上医疗后送领域的应用研究[J]. 中国卫生质量管理, 2010, 17: 90-93.
- [24] 齐亮, 刘晓荣, 刘振全, 陈国良, 张鹭鹭, 朱洪平, 等. 以医院船为节点的伤病员医疗后送优化配置研究[J]. 医疗卫生装备, 2012, 33: 4-7.
- [25] 秦超, 陈国良, 方影, 陆健. 基于随机性集合覆盖模型的伤病员后送运力预计及优化配置仿真模型设计[J]. 第二军医大学学报, 2006, 27: 299-302.
- QIN C, CHEN G L, FANG Y, LU J. Designing a simulative model for the forecast and optimal placement of casualty evacuation assets based on the probabilistic location set covering problem [J]. Acad J Sec Mil Med Univ, 2006, 27: 299-302.
- [26] 秦超, 方影, 陈国良, 陆健. 灾难救援批量伤员后送运力预计及优化配置仿真模型研究[C]. 第四届全国灾害医学学术会议暨第二届“华森杯”灾害医学优秀学术论文评审会学术论文集, 2007.
- [27] 秦超, 方影, 陈国良, 陆健. 用于伤病员后送工具配置的随机性集合覆盖模型及其改进[J]. 数理医药学杂志, 2007, 19: 565-567.
- [28] 杜海舰, 伍瑞昌. 医疗后送仿真及后送工具配置研究[J]. 数理医药学杂志, 2007, 20: 598-601.
- [29] 杜海舰, 伍瑞昌, 王运斗, 郭立军, 张晓峰, 王兴永, 等. 战时伤员后送工具配置概念模型的建立[J]. 实用医药杂志, 2007, 24: 476-478.
- [30] 张凯, 伍瑞昌, 杜海舰, 陶学强. 战时伤员后送工具配置可视化仿真优化研究[J]. 医疗卫生装备, 2011, 32: 1-2, 18.
- [31] 于东方, 沈俊良, 胡家庆, 赵红旗, 倪健. 基于作战模拟的医疗后送模拟研究[J]. 解放军医院管理杂志, 2011, 18: 873-874.