

以医院船为节点的伤病员医疗后送优化配置研究

齐亮, 刘晓荣, 刘振全, 陈国良, 张鹭鹭, 朱洪平, 刘文宝, 邓月仙

(第二军医大学卫勤系, 上海 200433)

[摘要] 目的:以医院船为节点,模拟海上伤病员医疗后送中的伤员流,以找出限制性的关键因素,进行路径优化和资源调整,辅助卫勤指挥者选择更好的应对方案,提高保障效率。**方法:**按照军队现行的海上医疗后送体制搭建框架,并根据现有的医院船条件和设施进行细化和修改,以 GoldSim 为建模平台,在计算机上搭建以医院船为节点的伤员流仿真模型,选取四种伤员分布作为模型运行的情景,采用蒙特卡洛方法进行模拟,依靠灵敏性分析处理不同因素之间的关联性。**结果:**在面对单峰型和增长型伤员流时,手术室的通过率占最主要地位;在面对峰值型伤员流时,伤病员分类速度成为了主要因素;在面对均衡型伤员流时,伤病员后送频率影响最大。**结论:**一是需要强调增加预测模式的重要性,军队用于减员预测的模式越丰富,战时应对不同需求的灵活性就越大;二是需要突出卫勤调配过程信息化的重要性,人员之间的协调,在战场环境下不能全部依靠单一的通讯方式,多种通信方式并存且将其条理化,可有效降低不良沟通带来的延时和误解;三是需要利用医院船功能模块化的优越性,在面对战场复杂多变的环境时,卫勤指挥人员随时根据当前情况迅速调整人员和物资配备,可有效增加资源使用效率、降低人员伤亡率、提高保障效率。

[关键词] 医疗后送;医院船;资源优化配置;蒙特卡洛;动态模拟;卫勤保障

[中国图书资料分类号] N945.12;R821.8 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-8868(2012)01-0004-04

Optimization of Medical Evacuation for Casualties in Hospital Ship

QI Liang, LIU Xiao-rong, LIU Zhen-quan, CHEN Guo-liang,

ZHANG Lu-lu, ZHU Hong-ping, LIU Wen-bao, DENG Yue-xian

(Health Service Department, the 2nd Military Medical University, Shanghai 200433, China)

Abstract Objective To build a model simulating the casualty-flow in medical evacuation at sea in order to help decision-makers to optimize casualty path and medical resource, and to find the key factors which affect the effectiveness. **Methods** According to the current medical evacuation system in the army and the equipment and staff in the newest hospital ship in China, the model was created with GoldSim software. Four casualty distributions of which the data had been obtained with Monte Carlo method were chosen as the input data to run the model. Sensitivity analysis method was used to find out the key factors. **Results** The adoption rate of casualties in operating room was proved to be the most important factor for unimodal and increasing distributions; classification rate of sick and wounded was the essential one for spike distribution; frequency of evacuation was most critical for uniform distribution. **Conclusion** More predictive models are needed for decision-makers to enhance the flexibility to variable demands; the importance of information should be much more realized in medical service deployment process; modularization of hospital-ship needs to be improved to effectively increase the efficiency of resource in use. [Chinese Medical Equipment Journal, 2011, 33(1): 4-7]

Key words medical evacuation; hospital ship; resource optimal allocation; Monte Carlo; dynamic simulation; health service

1 引言

21 世纪是海洋世纪,海洋为人类发展提供了广阔空间和丰富资源。海洋对中国在新世纪的和平发展具有决定性意义,我们必须把未来发展的目光投向海洋。面对日益严峻的海上形势,我们必须采取措施,大力加强海权建设,保证国家海洋利益^[1]。随着我军越来越多地赴远洋海区执行任务,海上卫勤保障任务也更加紧迫,卫勤保障能力亟须全面提高。

2 医院船在海上伤病员医疗后送中具有重要作用

海上伤病员医疗后送的组织体系是由海上到陆上,从前方到后方设置的各级救治机构,通过卫生运输工具联结起来的一个医疗后送链,其中各级救治机构分别对后送的伤病员完成从初级到高级的救治任务。医院船作为现代海战伤员救治需要的产物,在战时它作为海上第一线医院,主要接收从救护艇、卫生运输船和其他途径后送来的危重伤病员,实施早期治疗与部分专科治疗,待伤情稳定后立即后送作恢复性治疗,它是构成海上伤病员医疗后送体系的重要阶梯,对海上卫勤保障具有重要的作用^[2]。目前,世界上最具代表性的医院船是美国海军的舒适号和仁慈号,这 2 艘医院船在其 5 级医疗阶梯中执行第 3 级医疗阶梯的救治任务^[3],既参加过海湾战争等军事保障行动,又参与了海地地震救援等许多人道主义援助活动。2007 年 8 月,我国专为海上医疗救护建造的 920 型医院船下水,在经过一系

基金项目:军队“十二五”专项课题(2011-YY-027);2010 军队专项(10MA021);2011 第二军医大学“优秀硕士研究生苗子培育基金”项目
作者简介:齐亮(1987—),男,硕士研究生,主要研究方向为海上卫生勤务, E-mail: qingri212@yahoo.com.cn。
通讯作者:刘晓荣, E-mail: lxr196614@yahoo.com.cn

列船体、舰载医疗设备验收后,866 船于 2008 年交付使用,2009 年在海军成立 60 周年暨多国海军活动中首次公开亮相,被称为“和平方舟”。2009 年 10 月,“和平方舟医疗服务万里海疆行”在上海举行,本次活动以“和平方舟”为依托,为我国沿海 18 个岛礁港点的驻军、武警、公安边防官兵以及民众送医送药,被部队官兵和民众亲切地称为“生命之舟”^[4]。本研究正是以医院船为节点,模拟海上伤病员医疗后送中的伤员流,以找出限制性的关键因素,进行路径优化和资源调整,辅助卫勤指挥者选择更好的应对方案,提高保障效率。

3 模拟方法与建模工具的选择

3.1 模拟的主要方法

动态模拟(dynamic simulation)方法是指将系统通过常微分方程或偏微分方程描述出来,然后通过计算机程序建立实时的系统行为模型的过程。简单地说,动态模拟即数字模拟,需要经过一步步的时间间隔,通过得到近似的导数曲线下的面积而计算其积分来得到结果。1967 年,T. H. Naylor 和 J. M. Finger 分别从科学哲学、经济理论和统计等不同的角度证明了计算机模拟中模型的有效性^[5],由于具有的实时性和操作性,动态模拟方法被广泛应用于核动力、汽车制造、电力、经济学建模、生态系统、人工智能、药代动力学研究等领域。由于医疗后送过程中存在伤员流,不断随时间发展变化,因此就必须通过动态模拟的方法引入时间参数。

3.2 模拟中随机数的计算方法

蒙特卡洛(Monte Carlo)方法,又称计算机随机模拟方法,源于美国在第二次世界大战中研制原子弹的“曼哈顿计划”,由 Ulam 和 Von Neumann 等人提出,用于解决当时遇到的计算问题。由于这种方法容易确定均方差,就不存在有效位数损失问题,并且因为其并非一定要进行离散化处理,因此使其适合于解决高维问题,大大节省了计算机的存贮单元。鉴于蒙特卡洛方法具有以上优点,比较符合本研究的需要,因此将其作为模拟中处理随机数的计算方法。

3.3 模拟软件的选择

目前的模拟软件在用途上分为 2 种:一种是专业模拟软件,只能针对特殊的问题建立模型;而使用较为广泛的是另外一种,即非专业化模拟软件。非专业模拟软件提供“工具套装”和中心框架,建模者可根据自己的需求,针对不同的系统进行建模。非专业模拟软件主要有 4 类:(1)离散型模拟软件,依赖业务流程建立模型,不分析动态数据流;(2)基于行为主体的模拟软件,将静态属性和交互法则融为一体,可以分析主体交互性;(3)连续型模拟软件,使用连续性方程解决微分方程问题,可分析系统的演变过程;(4)混合型模拟软件,整合了以上各种软件的优势,可处理复杂动态系统问题。GoldSim 是利用蒙特卡洛模拟来分析动态复杂系统的建模平台,提供多种定量分析方法,通过将复杂系统内部的不确定性和危险性量化处理,来实现支持决策和模拟未来场景的目的。

4 模型参数的设定

4.1 伤员流随时间的分布设定

现在高技术局部战争,随着现代武器杀伤因素的增多,

杀伤强度的增大,杀伤效应时间的延长,使战伤早期征兆凶险,重伤的比例相应增加,晚期并发症增多,感染更加严重,休克、昏迷乃至多脏器衰竭等并发症增多,出现许多新的特点^[6]。卫生减员预计是制定卫勤保障计划的重要内容,筹划与组织使用卫勤力量的主要依据,是卫勤组织指挥的主要内容之一。本研究主要针对常规武器战伤减员预计,依据 Leedham 和 Blood 的理论,选取 4 种伤员分布(cacualty distribution)作为模型运行的情景:单峰型分布(unimodal distribution)、峰值型分布(spike distribution)、增长型分布(increasing distribution)、均衡型分布(uniform distribution)。伤员分布的趋势如图 1 所示。

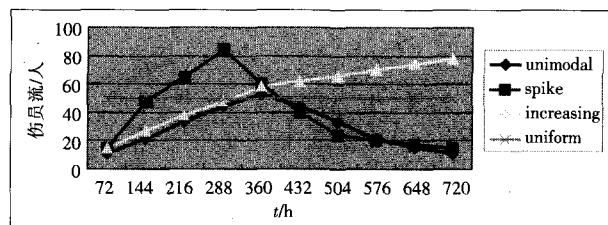


图 1 模型中 4 种不同的伤员分布

4.2 模型运行参数的设定

模型参数的统计数据见表 1。在运行模型后进行真实性检验(reality check),即通过定义约束和测试输入值,测试模型与真实性检验方程式的一致性。在发现和解释关键因素时,采用灵敏性分析(sensitivity analysis),即通过改变变量数值并检查输出结果的变化,判断模型对于相关变量的相应灵敏性。

表 1 模型相关参数的统计

统计指标	数目	蒙特卡洛模拟次数	综合记录次数
子元件框架元素	1	100	10
模型参数	31	100	10
结构元件	32	100	10
保存的时间间隔	36	100	10
保存的结果	36	100	10
持续运行时间/h	720	100	10

4.3 模型结构的设定

本研究依据我军现行的海上医疗后送体制搭建框架,并根据现有的 866 医院船条件和设施进行细化和修改。我们在模型中设定了伤员流的进入方式和离开条件,而且设定了对处于分类区域、手术室、病床和后送队列中的伤病员都设定了累积变量,用以观察各部分的详细结果。模型具体结构如图 2 所示。

5 模型运行的结果

由于篇幅有限,本文只展示单峰型伤员分布的模型运行结果,但结论部分是基于全部运行结果得出的。

5.1 单峰型伤员模拟结果

本研究设定线性初始值,但允许每个时间点流入的伤病员数目有所波动,该波动服从正态分布。如图 3、4 所示。

5.2 重伤员模拟结果

本研究按照常规伤员伤情分布设定初始值,轻重伤员的比例为 3:2。如图 5、6 所示。可以发现,分类区的重伤员累

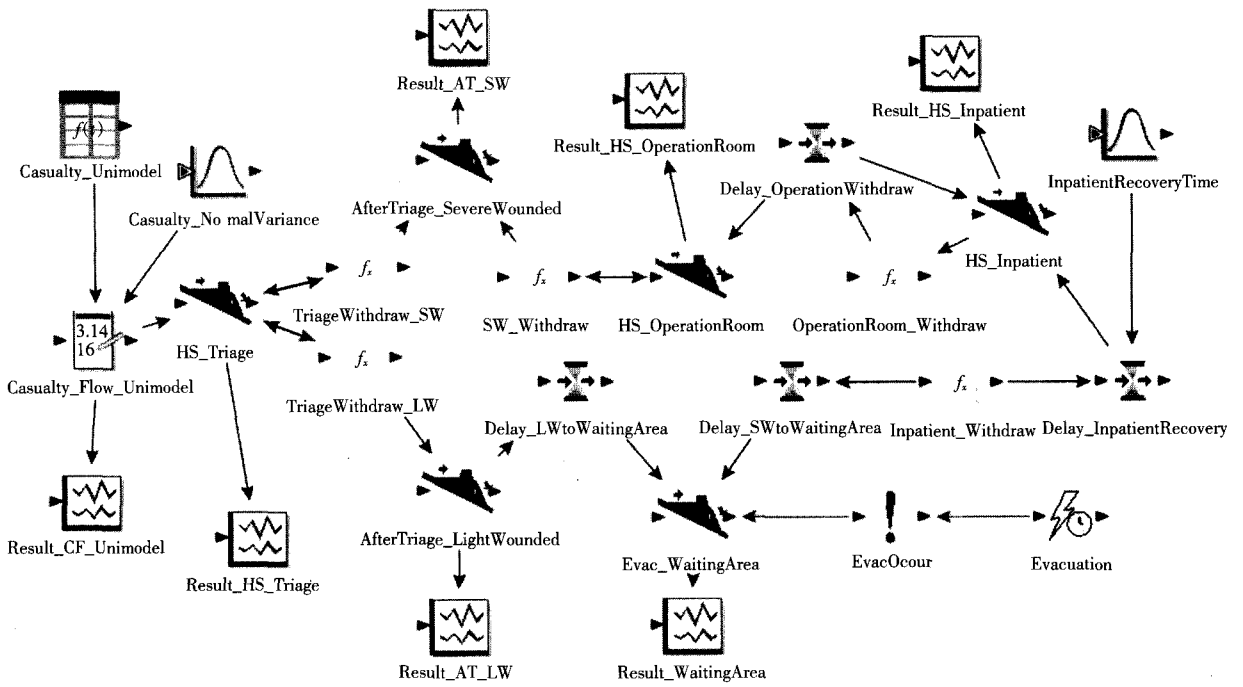


图2 模型总体结构图(GoldSim建模)

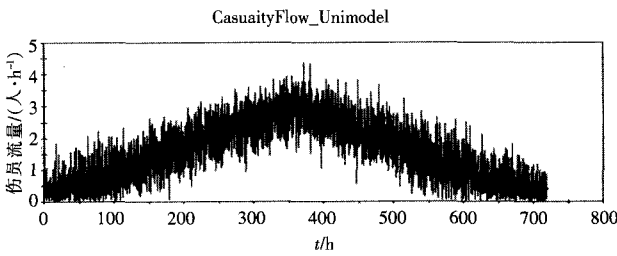


图3 单峰型伤员综合模拟结果

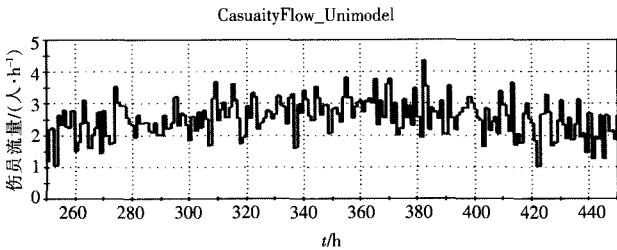


图4 单峰型伤员单次模拟结果

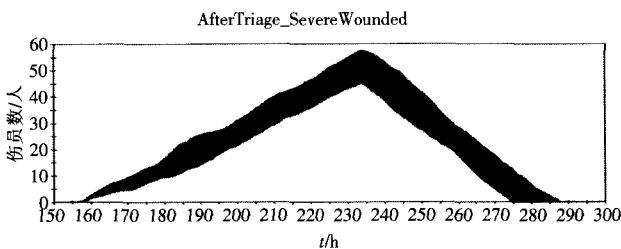


图5 重伤员综合模拟结果

行模型。如图7、8所示。发现手术室利用率在伤病员输入峰值前就达到了最高位，而重伤员的峰值是在中间点之后出现的，所以说明手术室的效率可以对重伤员造成长时间的影响。

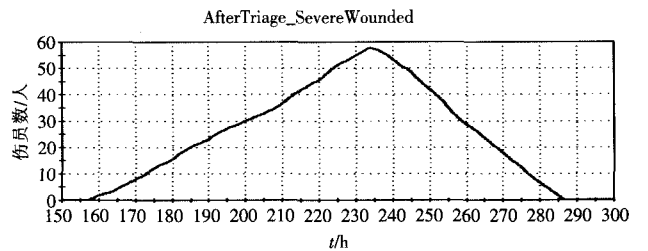


图6 重伤员单次模拟结果

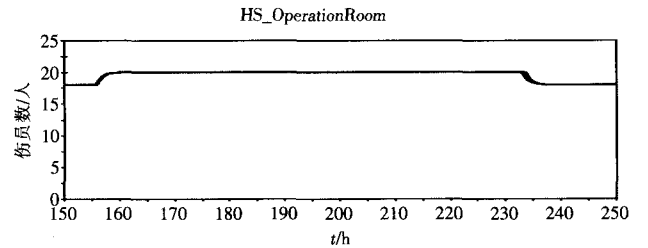


图7 手术室利用率综合模拟结果

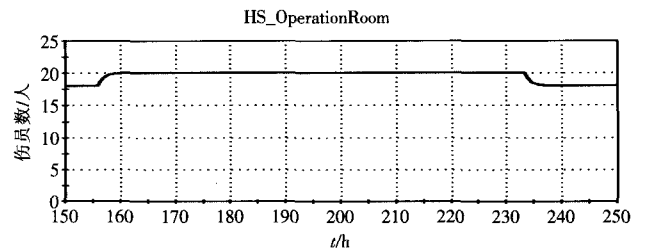


图8 手术室利用率单次模拟结果

积量是在伤员流输入峰值之后才出现的，这就给了我们一定的启示，因为分类区伤病员受到手术室通过率的阻滞，所以实际上手术室通过率在战斗中后期才会有更高的需求。

5.3 手术室利用情况

本研究只设定通用的普通手术室，按照常规通过率运

5.4 床位利用情况

本研究只设定普通床位，按照医院船规定的住院时间，最长设定为2周。如图9、10所示。与前面图中的重伤员结果不同，床位利用是在伤病员输入峰值到来前出现的，之后就不再处于紧张状态了，说明峰值型分布的特点使得峰值前各部门人员不断调整适应，达到了高效的状态，但是之后对保障效率的高需求弱化消失了，所以就出现了资源的闲置。

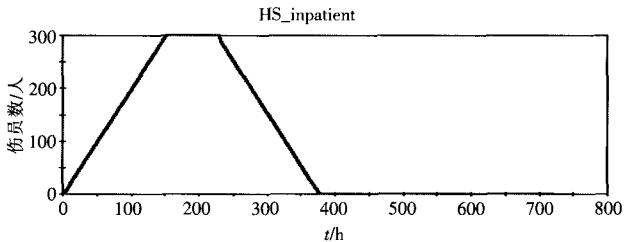


图9 床位利用率综合模拟结果

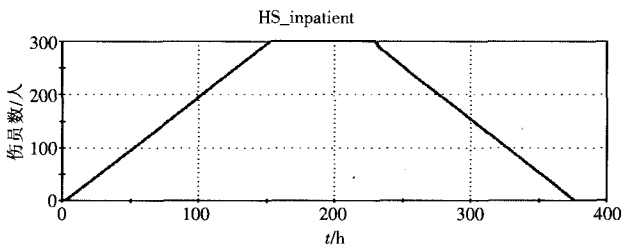


图10 床位利用率单次模拟结果

5.5 伤病员后送情况

本研究只设定规律性的医疗后送，附加服从泊松分布的到达时间，平均间隔12h。如图11、12所示。因为战场形势变化很大，所以很有可能出现如图所示的剧烈波动，也就是说，很难保证相同时间段内一定都有足够的后送工具和后送时机。

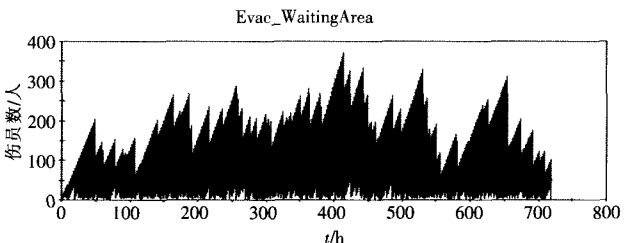


图11 伤病员后送综合模拟结果

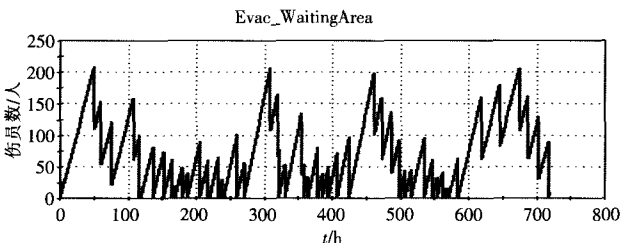


图12 伤病员后送单次模拟结果

6 结论

通过对4种不同伤员分布的全部模拟结果进行灵敏性检验，可以找到每种情况下的限制性因素，并将各因素按照

重要性(即其在该设定下的限制程度)排序，如表2所示。分析之后可得到相应的结论，为相关卫勤人员提出相应的建议。

表2 4种伤员分布下的限制性关键因素

分布类型	关键因素1	关键因素2	关键因素3	关键因素4
单峰型分布	手术室 通过率	平均 住院时间	伤病员 后送频率	伤病员分 类速度
峰值型分布	伤病员 分类速度	轻重伤 病员比例	工作人员 通讯效率	伤病员 后送频率
增长型分布	手术室 通过率	伤病员 后送频率	平均 住院时间	工作人员 通讯效率
均衡型分布	伤病员 后送频率	医院船 床位安排	伤病员 后送频率	伤病员 分类速度

6.1 预测模式多样化,提高战时灵活性

即需要丰富预测的模式，提高战时应对不同卫勤保障需求的灵活性。简单地讲，就是需要为卫勤指挥人员提供更多选项，使其在遇到不同情况下尽可能找到最适用的方案，而不只是提供单个计划方案，然后再由卫勤人员在战斗中临时调整，因那样不但造成时间的浪费，而且容易出现决策失误。

6.2 加快卫勤信息化,减少延时和误解

即需要加快卫勤信息化，利用多种方式进行通信与协调。举例来说，手术室的人员需要实时接收和汇总分类区的伤员情况，包括伤情、伤部等不同信息，更快地做好准备。当然，信息化的作用不止于此，比如卫星通信技术的应用可以帮助医院船实时向后方进行反馈，对后送频率、物资供应等需求进行实时修改，减少延时和误解。

6.3 增强功能模块化,保证指挥灵活性

即需要增强医院船功能的模块化，帮助卫勤指挥人员随时根据战场情况迅速调整资源配置方式。利用模块化技术，在陆地预置船载医疗系统、直升机平台、通道设施等设备，一有需要，即可利用集装箱船加改装成模块化医院船，最快可在24h内完成医院船的加改装^[7]。因为战场形势多变，而准备过程中只能将各种资源按照足以应对某一种情景的方式进行配置，如果可以发挥模块化的优势，在需要做出变化时，卫勤人员可以更快地完成调整。

[参考文献]

- [1] 吕文强,车 璇,王 健.加速推进国家海防建设的几点思考[J].国防,2010(5):13-15.
- [2] 朱昌吉,夏志方.医院船的发展与思考[J].海军医学杂志,1999,20(2):162-164.
- [3] 殷 明,管柏林,柳 堤,等.美海军医院船医疗设施及其救护能力[J].人民军医,2010,53(3):174-175.
- [4] 胡家庆,刘 勇,王 猛,等.医院船执行非战争军事行动卫勤保障任务现状分析[J].解放军医院管理杂志,2010,17(5):454-455.
- [5] Naylor T H, Finger J M. Verification of Computer Simulation Models[J]. Management Science, 1967, 14(2):92-101.
- [6] 陈文亮.现在卫勤前沿理论[M].北京:军事医学科学出版社,2006.
- [7] 王 淘,沈俊良,夏志方,等.模块化医院船的研究[J].船舶工程,2010,32(1):8-10.

(收稿:2011-07-11 修回:2011-08-20)