

DOI:10.3724/SP.J.1008.2015.01097

基于计算机仿真技术的应急医疗救援策略研究

庞剑飞^{1,2}, 潘晓东^{1*}

1. 解放军 117 医院医学工程科, 杭州 310013

2. 解放军 73232 部队卫生队, 舟山 316217

[摘要] **目的** 利用计算机仿真技术, 模拟不同条件下应急医疗救援过程, 优化救援策略与资源配置。**方法** 首先根据伤员到达与伤情特征, 制定 4 种备选策略并逐一对其进行模拟研究; 之后通过伤员等待时间与救治单元工作强度确定最优策略; 最后, 通过模拟分析伤员到达率与救治单元数量之间的关系, 对救治策略与救援力量配置提出合理化建议。**结果** 采用先离开先服务与“选组策略”能够有效减少伤员等待时间与救治人员工作强度; 当紧急(非紧急)类伤员到达率增加时, 在满足伤员救治要求的前提下, 总的救治单元数量同步增加, 其中紧急(非紧急)类救治单元数量增加较快。**结论** 通过模拟不同策略下的应急医疗救援过程, 确定了最优救治策略; 救治单元数量与伤员到达率密切相关, 通过估算伤员到达率与平均救治时间, 可为救援力量配置提供定量参考。

[关键词] 应急医疗; 救援策略; 资源分配; 计算机模拟

[中图分类号] TP 39.9; R 197.6 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2015)10-1097-05

Computer simulation-based study of emergency medical rescue strategy

PANG Jian-fei^{1,2}, PAN Xiao-dong^{1*}

1. Department of Medical Engineering, No. 117 Hospital of PLA, Hangzhou 310013, Zhejiang, China

2. The Medical Team, No. 73232 Troop of PLA, Zhoushan 316217, Zhejiang, China

[Abstract] **Objective** To apply computer simulation technology for simulating the emergency medical rescue of different conditions and optimizing the rescue strategy and resource allocation. **Methods** Firstly, according to the characteristics of the arrival of the wounded and the state of injury, four alternative strategies were formulated and simulated. Secondly, the optimal strategy was determined by waiting time of the wounded and the working intensities of rescue unit. Finally, the reasonable suggestions for the rescue strategy and rescue force allocation were put forward by simulation analysis of the relationship between the arrival rate of wounded and the number of rescue units. **Results** First-leave-first-served and the select-units strategy could effectively reduce the waiting time of the wounded and the working intensity of the rescue unit. When the arrival rate of class A(B) of the wounded increased, the total number of rescue units increased at the same time under the premise of meeting the requirements of the medical rescue, with the number of A(B) rescue units increasing more rapidly. **Conclusion** By simulating the emergency medical rescue process using different strategies, the optimal rescue strategy can be determined; the number of the rescue units is closely related to the arrival rate of the wounded; estimating the arrival rate of the wounded and the average treatment time can provide reference for rescue force allocation.

[Key words] emergency medical rescue; rescue strategy; resource allocation; computer simulation

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2015, 36(10):1097-1101]

在战争或突发性灾难发生后, 通常会设置相应的医疗救援中心, 救援中心包含若干个救治单元, 每个救治单元通常由 1 名医生和若干名护士组成。医疗救护的第一个环节是对伤员进行检伤分类, 医护人员根据伤员的伤情、伤因及生命体征判定伤员类

型, 之后, 根据分类结果将伤员送至相应的急救区进行救治。通常可将伤员分为“紧急组”与“非紧急组”两类, 记为 A 类和 B 类。对于 A 类伤员, 应立即给予治疗, 保证在“伤后黄金 1 h”内获得救治机会^[1-2]。此外, 正确、有效的救援策略是应急医疗救援过程中

[收稿日期] 2015-06-16 **[接受日期]** 2015-07-22

[作者简介] 庞剑飞, 技师。E-mail: jian11fei.happy@163.com

* 通信作者 (Corresponding author). Tel: 0571-87348834, E-mail: 35920117@qq.com

降低人员伤残、伤死率的关键;在救援力量有限的情况下,如何根据伤员到达与伤情特征,合理配置救援力量是提高伤员救治成功率面临的难题^[3]。

目前,针对应急医疗救援问题常采用计算机仿真技术进行模拟,大都以排队论为基础^[4-6],针对特定问题进行仿真,而对救援结果影响较大的救援策略及力量配置研究较少。有鉴于此,本研究利用离散事件仿真技术对应急医疗救援过程中救援策略选择、救援力量配置等问题进行了仿真研究,以期在未来在战争或突发灾难发生时的医疗救援提供参考。

1 理论和方法

1.1 问题分析 一般认为,伤员到达服从泊松分布,救治单元的服务时间(救治时间)为正态分布,据此可将伤员救治过程归结为一个多服务台的排队系统^[7]。自然地,伤员等待时间与救治单元工作强度用于评价系统性能即救治效果。本研究将伤员等待时间定义为伤员开始救治时刻与到达时刻的差值,工作强度定义为救治单元总工作时间。与伤员类型对应,本研究将救治单元相应地分为 A、B 两类,同类救治单元配置与功能相同。好的救治策略应能够综合考虑伤员等待救治时间与救治人员工作强度,兼顾伤员与救治人员;救治策略须具备以下基本特征:(1)可行性,是能够操作的,简单易行,策略复杂度可计算,能够在较短的时间内做出决策;(2)有效性,即能够基于当前时刻拥有的信息,做出合理的决策,可以预估未来数据,但不依赖未来数据;(3)合理性,必须符合基本的医疗救护准则、社会准则和社会认知。

根据应急医疗救援过程中的救治特征,本研究考虑以下两种救治策略:(1)救治单元空闲后选择伤员进行救治,称为“选人策略”;(2)伤员到达后进入某救治单元救治或等待救治,即将伤员分配到合适的救治单元,称为“选组策略”。策略 1 思路是以救治单元完成救治的时刻为时钟推进的时刻点,选择合适的伤员;策略 2 是以伤员到达时刻为时钟推进的时刻点,将伤员分配到合适的救治单元。为了尽量减少伤员的等待时间,考虑以下两种服务策略:(1)以等待时间为标准,即“先到先服务(first-come-first-served, FCFS)”;(2)以最早救治结束为标准,即“先离开先服务(first-leave-first-served, FLFS)”。

救治单元数目越多,等待时间就可以越短,但救

治力量往往有限。因此,在伤员以一定速率到达(A、B 两类伤员的到达分别服从于参数 λ_A 与 λ_B 的 Poisson 流)的情况下,如何确定满足伤员救治要求的 A、B 类救治单元数量是本研究的重点。为此,本研究对伤员的救治要求细化为 A 类伤员等待时间少于 30 min, B 类伤员等待时间最长为 1 h。本研究将综合考虑“选人策略”、“选组策略”与“先到先服务(FCFS)”、“先离开先服务(FLFS)”混合搭配后的 4 种策略,通过模拟对比不同策略的救治效果,得到最佳策略;在得到最佳救治策略后,进一步分析伤员到达率与救治单元数量之间的关系。

1.2 救治模型建立

1.2.1 选人策略 选人策略以救治单元完成救治时刻为时钟推进点,选择伤员进入当前的救治单元。选人策略的特点是在救治单元完成的时候,才确定下一个选择的伤员,对于同类型的伤员按次序排队,等价于系统中有 2 个队列(图 1)。

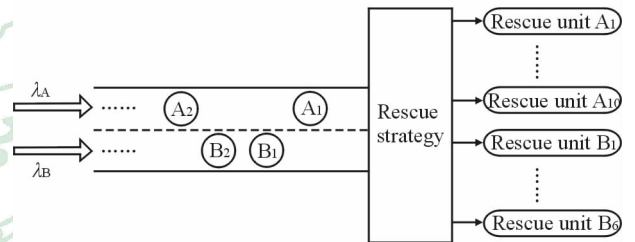


图 1 选人策略系统示意图

Fig 1 The flowchart of select-the wounded strategy

选人策略的救治过程如图 2 所示,根据不同类型伤员的救治要求及服务策略,制定如下 2 个基本准则:(1)等待队列中的第 1 个 A 类伤员的等待时间尽量小于阈值,目的是尽量确保等待时间小于 1 h。如果等待时间已经超过阈值,那么就选择他。(2)“先到先服务(FCFS)”：从等待队列中选择可以最先到达的伤员;“先离开先服务(FLFS)”：从等待队列中选择可以最先离开的伤员。

1.2.2 选组策略 选组策略以伤员到达时刻为时钟推进点,选择救治单元。选组策略的特点是伤员一到达,就给他选择好目标的救治单元,并且在该救治单元下排好序,因此等价于系统中有多个(等于救治单元数)队列(图 3)。该策略仅根据当前到达的伤员与系统状态(各个救治单元的完成时刻)做出决策。因此,无法掌握各个等待队列中 A 类伤员的等待时间。

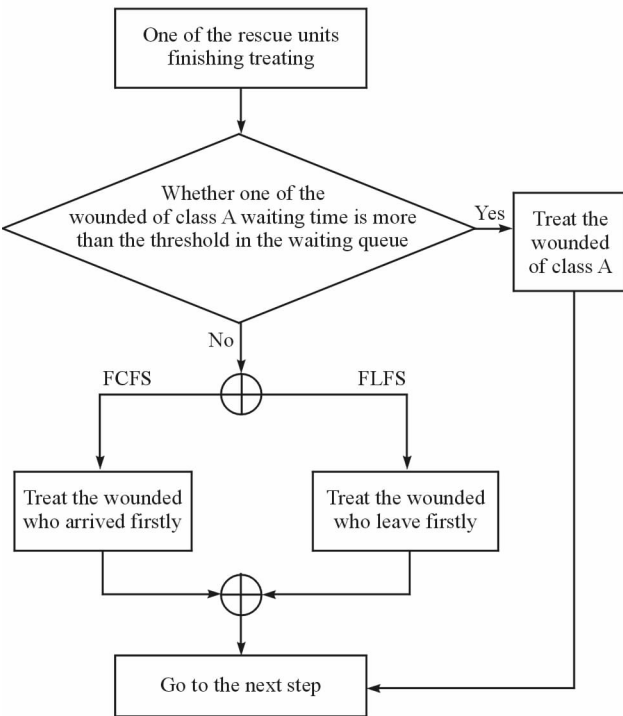


图 2 选人策略救治流程

Fig 2 The rescue flowchart of select-the wounded strategy

FCFS: First-come-first-served; FLFS: First-leave-first-served

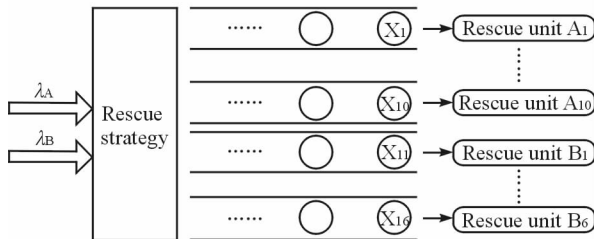


图 3 选组策略系统示意图

Fig 3 The flowchart of the select-unit strategy

与选人策略类似, 选组策略的救治过程如图 4 所示, 当伤员到达时, 确定其救治单元, 有以下两种方式: “先到先服务 (FCFS)”, 从所有救治单元中选择 1 个最早结束的作为目标救治单元; “先离开先服务 (FLFS)”, 从所有救治单元中选择 1 个能使当前伤员最早离开的作为目标救治单元。

1. 2. 3 服务策略 先到先服务 (FCFS) 的选择伤员 i 的判别式为:

$$\{i \mid \max\{t_c - t_i, \text{for } \forall i\} \wedge \{t_{s_i} < t_c\}$$

式中 t_i 表示第 i 位伤员到达时刻, t_{s_i} 表示第 i 位伤员开始救治的时刻, t_c 表示当前时刻。

先离开先服务 (FLFS) 的选择判别式为:

$$\{i \mid \min\{\min\{\max\{\alpha A_{i_c}, t_i\} + T_{AX}, \text{for } \forall i\}, \min\{\max\{\alpha B_{i_c}, t_i\} + T_{BX}, \text{for } \forall i\}\}$$

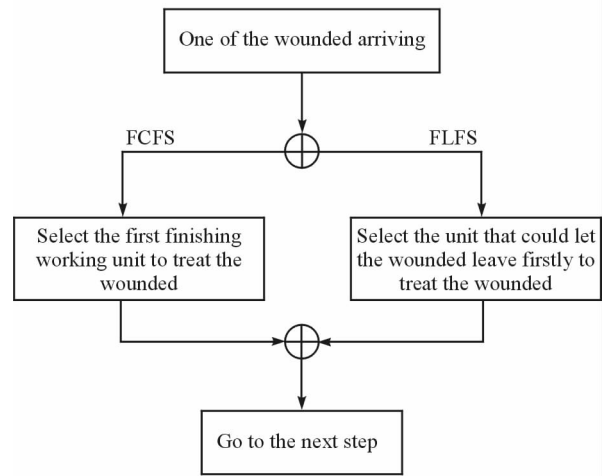


图 4 选组策略救治流程

Fig 4 The rescue flowchart of the select-unit strategy

FCFS: First-come-first-served; FLFS: First-leave-first-served

式中 T_{XX} 表示救治时间, 根据相应的伤员类型和救治单元类型取值。 αA_{i_c} 表示第 i 个 A 类救治单元最近完成救治的结束时间, αB_{i_c} 表示第 i 个 B 类救治单元最近完成救治的结束时间。

2 结果

2. 1 基本参数 采用排队论系统的实现原理, 根据给出的数据, 进行时钟推进与策略应用, 用 Matlab 编程实现, 救治时间分布如表 1 所示。

表 1 救治时间分布

Tab 1 Treating time of the wounded

	$t/\text{min}, \bar{x} \pm s$	
	A rescue unit	B rescue unit
Class A of the wounded	35 ± 7	45 ± 5
Class B of the wounded	40 ± 5	30 ± 6

2. 2 最优救治策略 首先设置 A、B 两类伤员到达率分别为 $\lambda_A = 11.03$ 人/h, $\lambda_B = 14.58$ 人/h, A 类救治单元为 10 个, B 类为 6 个, 分别模拟 4 种救治策略, 最终得到伤员的平均等待时间如表 2 所示, 救治单元的工作强度如表 3 所示。改变伤员到达率及救治单元数之后进行模拟, 得到的结果类似, 可见先离开先服务 (FLFS) 的方式比先到先服务 (FCFS) 的结果更优, 在该策略下所有伤员的等待时间如图 5 所示, 各救治单元工作强度如图 6 所示; 选组策略普遍优于选人策略。因此, 后续研究均采用先离开先服务 (FLFS) 规则下的选组策略。

表 2 平均等待救治时间的比较

Tab 2 Comparison of average waiting time for rescue

	t/min	
	Select the wounded strategy	Select the units strategy
FCFS		
Mean	20.30	8.24
Class A	2.51	8.08
Class B	33.71	8.36
FLFS		
Mean	10.91	6.55
Class A	3.58	3.94
Class B	16.42	8.53

FCFS; First-come-first-served; FLFS; First-leave-first-served

表 3 平均工作强度的比较

Tab 3 Comparison of average work intensities

	t/h	
	Select the wounded strategy	Select the units strategy
FCFS		
Mean	15.94	14.94
Class A	16.06	14.91
Class B	15.75	15.00
FLFS		
Mean	15.17	14.40
Class A	15.13	13.94
Class B	15.25	15.17

FCFS; First-come-first-served; FLFS; First-leave-first-served

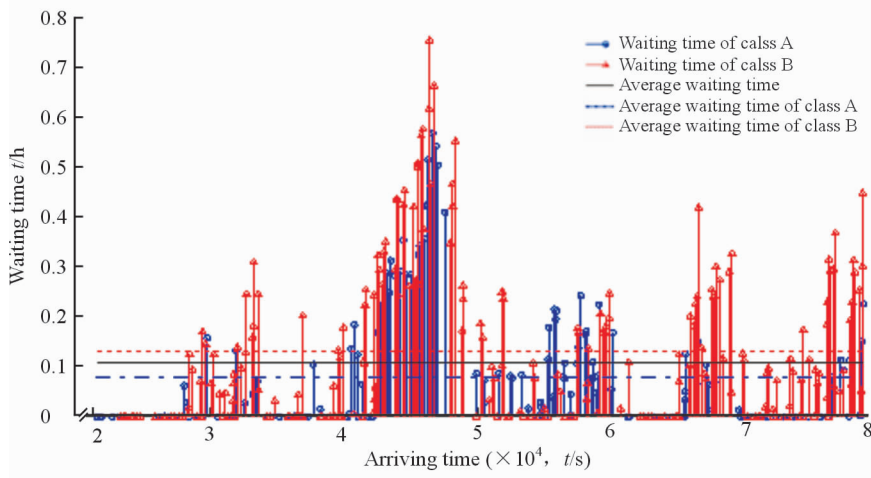


图 5 伤员等待时间 (FLFS, 选组策略)

Fig 5 Waiting time of the wounded (FLFS, select-unit)

FLFS; First-leave-first-served

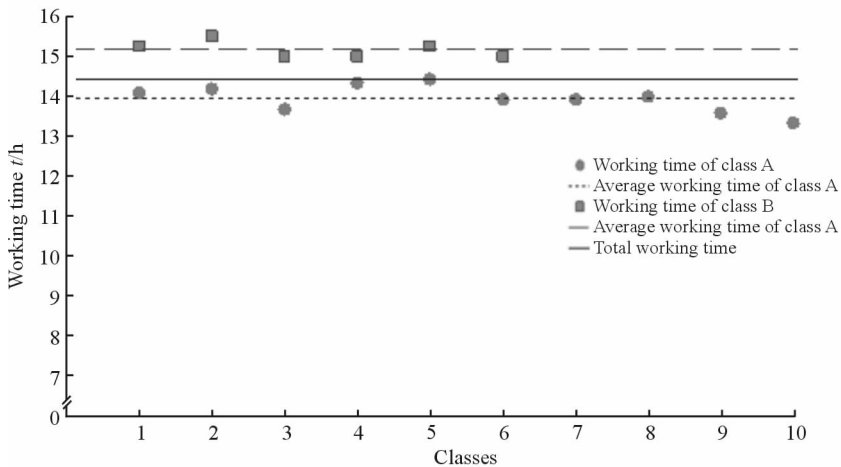


图 6 救治单元工作强度 (FLFS, 选组策略)

Fig 6 The work intensity of rescue-unit (FLFS, select-unit)

FLFS; First-leave-first-served

2.3 最优救治伤员配置 在最优策略[选组策略, 先离开先服务 (FLFS)]下, 通过设定 A、B 类伤员不同的到达率, 模拟不同数量下 A、B 类救治单元的救治结果, 找到满足救治要求的救治单元配置情况。

结果如表 4 所示, 可以看到, 当 B 类伤员到达率一定时, 随着 A 类伤员到达率的增加, A、B 类救治单元同时增加, 但 B 类救治单元数量增加较慢; 当 A 类伤员到达率一定时, 随着 B 类伤员到达率的增加,

A、B 类救治单元同时增加, 但 A 类救治单元数目增加较慢; 救治单元总数在两种情况下均同步增加。

达情况估计出伤员到达率, 之后据此确定救治单元的配置, 从而最大限度提高伤员救治效率并兼顾救治人员的工作强度。

实际救援过程中, 可根据一段时间内伤员的到

表 4 不同到达率下救治单元配置情况
Tab 4 Allocation of rescue unit with different arriving rates

λ_A	λ_B	The number of A rescue units	The number of B rescue units	The rate of waiting time of class A (more than 30 min)(%)	The rate of waiting time of class B (more than 30 min)(%)
4	14.6	5	6	0	1
6	14.6	6	6	0	3
8	14.6	7	6	0	0
10	14.6	7	7	0	0
12	14.6	8	7	0	0
14	14.6	9	8	0	0
16	14.6	9	9	0	0
18	14.6	10	9	0	0
11.03	4	5	5	0	0
11.03	6	5	6	0	0
11.03	8	5	7	0	0
11.03	10	6	7	0	0
11.03	12	7	7	0	0
11.03	14	7	8	0	3
11.03	16	7	9	0	2
11.03	18	8	9	0	0
11.03	20	8	10	0	1

3 讨论

本研究利用离散事件仿真技术对应急医疗救援过程中的救援策略及救援力量配置进行了研究, 通过模拟仿真, 得到了最优救援策略与不同伤员到达率情况下的救援单元配置情况, 能够为战争或突发灾难时的救援工作提供定量参考。本研究模拟了不同伤员到达率与救治单元数量情况下的 4 种救援策略的救治过程, 最终先离开先服务 (FLFS) 与“选组策略”在伤员等待时间与救治单元工作强度方面均较优; 选择最优策略, 对不同伤员到达率情况下的伤员救治过程进行了模拟, 从而确定最优救治单元配置。实际应用时, 需首先对伤员到达率及伤员平均救治时间进行估算, 通过增减救治单元数目以确定最优救治力量配置。

利用计算机仿真技术模拟应急医疗救援过程能够帮助卫勤指挥人员进行决策, 弥补实际演练的缺点^[8]。本研究在模拟救治过程中未考虑救治单元间协同工作、救治单元连续工作时间及伤员类别转换等情况, 后续将对上述问题进行分析, 进一步完善救治策略。

[参考文献]

[1] 席梅, 侯建盛, 刘爱兵. 国际地震救援行动中的医疗

力量配置分析[J]. 灾害学, 2007, 22: 138-142.
 [2] 曹玉芳, 周亚雄, 何庆. “5. 12”汶川地震中地震伤员及急诊医疗救助分析[J]. 华西医学, 2008, 23: 1292-1293.
 [3] 卜寒奇, 汪文生. 军队卫生装备优化编配建模方法研究[J]. 第二军医大学学报, 2011, 32: 532-536.
 Bu H Q, Wang W S. Modeling method for allocation optimization of military medical equipment[J]. Acad J Sec Mil Med Univ, 2011, 32: 532-536.
 [4] 庞剑飞, 蒋俊成, 潘晓东. 基于 stateflow 与排队论的应急医疗救援仿真系统的设计[J]. 第二军医大学学报, 2015, 36: 649-654.
 Pang J F, Jiang J C, Pan X D. Stateflow and queuing theory-based design of emergency medical rescue simulation system[J]. Acad J Sec Mil Med Univ, 2015, 36: 649-654.
 [5] 朱艳艳. 应急医疗救援信息系统的设计与实现[D]. 长春: 吉林大学, 2011.
 [6] 罗晶, 钱阳明, 田丽丽, 王海威, 徐海琴, 杨颖, 等. 基于排队论的医院船医疗救治仿真研究[J]. 解放军医院管理杂志, 2010, 17: 933-935.
 [7] 胡丹丹, 王国利, 杨超. 考虑服务数量和服务时间的紧急救援站选址[J]. 公路交通科技, 2012, 29: 133-136.
 [8] 王杨, 范植华. 地震救援演练仿真系统的研究[J]. 计算机仿真, 2013, 30: 404-408.