

· 研究快报 ·

## 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

秦超<sup>1\*</sup>, 陈国良<sup>1</sup>, 方影<sup>2</sup>, 陆健<sup>3</sup>

(1. 第二军医大学卫生勤务学系卫生勤务学教研室, 上海 200433; 2. 第二军医大学基础医学部数理教研室, 上海 200433; 3. 第二军医大学卫生勤务学系卫生统计学教研室)

**[摘要]** **目的:**设计仿真模型用于大批伤病员后送动力预计及配置优化。**方法:**分析了目前运力预计方法的不足,引入运筹学中的选址问题,选用应用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。根据这些随机变量的特征,确定相应的理论概率分布。**结果:**按照蒙特卡罗仿真的原理,以随机性集合覆盖模型为基础,用随机数模拟上述不确定因素,形成后送运力优化配置的仿真模型。**结论:**本模型可作为今后开发计算机辅助软件的基础,并供各级卫勤机构参考。

**[关键词]** 伤病员后送;运力预计;优化;系统仿真;随机性集合覆盖模型

**[中图分类号]** R 821.41 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2006)03-0299-04

### Designing a simulative model for the forecast and optimal placement of casualty evacuation assets based on the probabilistic location set covering problem

QIN Chao<sup>1\*</sup>, CHEN Guo-liang<sup>1</sup>, FANG Ying<sup>2</sup>, LU Jian<sup>3</sup> (1. Department of Military Health Services, Faculty of Health Services, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China; 2. Department of Mathematics & Physics, College of Basic Medical Sciences, Second Military Medical University; 3. Department of Medical Statistics, Faculty of Health Services, Second Military Medical University)

**[ABSTRACT]** **Objective:** To design a simulative model for the forecast and optimal placement of mass casualty evacuation assets. **Methods:** An operation research module named the location selection problem was introduced in this study. The probabilistic location set covering problem was chosen as the theoretical model for optimal placement of mass casualty evacuation assets. Several indeterminate factors were analyzed in details, including the availability; capacity and velocity and effective work time of evacuation assets. The ideal statistical distributions were determined by the characteristics of these variables. **Results:** According to the principle of Monte Carlo simulation and based on the probabilistic location set covering problem, random numbers fitting theoretical probabilistic distributions were generated to simulate those indeterminate factors, based on which a simulative model for optimal placement of casualty evacuation assets was designed. **Conclusion:** This simulative model may be used as a basis for further development of a computer-assisted program and as a reference for medical administration commanders at different levels.

**[KEY WORDS]** casualty evacuation; evacuation assets forecast; optimization; system simulation; probabilistic location set covering problem

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2006, 27(3): 299-302]

卫生运力预计是指对完成伤病员所需要运输力量数量的预先估算,是战时卫勤组织指挥的重要内容之一。未来联合作战中,伤病员后送任务十分繁重,需要混合使用多种不同容量和航速的后送工具,传统的运力预计方法已经难以满足现实需要。为此我们引入运筹学中的选址问题(facility location)来解决伤病员后送运力预计及优化配置问题,分析探讨了伤病员后送中的若干随机因素,设计了伤病员后送运力优化配置的仿真模型,作为今后各级卫勤领导和机关的参考和依据。

### 1 传统的运力预计方法及局限性

我军目前采用的计算方法,主要依据卫生减员

数量,伤势比例,运输工具种类、容量、行速,运输距离及完成运送时限等计算运输工具的数量<sup>[1,2]</sup>。美军1994年出版的野战手册“卫勤保障计划(Planning for Health Service Support)”也有类似的计算公式,同时考虑到机械维护保养、驾驶人员休息、战斗损失、替换滞后等因素,引入了分散允许(dispersion allowance)和分散系数(dispersion factor)的概念,对传统的计算方法进行改进。如果使用一种运输工具,这种计算方法无疑是可行的,问题是在实际

**[基金项目]** 军队医药卫生“十五”计划项目(03M002)。

**[作者简介]** 秦超,硕士,副教授。

\* Corresponding author. E-mail: smmuqinchao@citiz.net

工作中,几乎不可能仅使用单一的后送工具,往往是多种后送工具混合使用。我军目前伤病员后送力量十分薄弱,未来作战肯定需要动用各种救护艇、经过改装的运输船、甚至民用船只来后送伤病员,而这些后送工具又具有不同的容量和航速,因此现行的计算方法在实际使用中有一定的局限性,需要进行改进。目前美军以运筹学选址问题的覆盖模型为基础来解决这一问题。

## 2 基于随机性集合覆盖模型的运力配置仿真模型设计

所谓选址,就是确定所要分配的设施的数量、位置以及分配方案。所谓覆盖模型,就是对于需求已知的一些需求点,如何确定一组服务设施来满足这些需求点的需求。根据解决问题的方法的不同,可以分成两种不同的主要模型:一是集合覆盖模型(set covering location problem),用最小的设施去覆盖所有的需求点;二是最大覆盖模型(maximum covering location problem),在给定数量的设施下,覆盖尽可能多的点。对于小规模集合覆盖问题,可以应用求解整数规划的分枝定界算法(branch and bound algorithm)求解;而最大覆盖模型可以采用由 Church R 和 ReVelle C 设计的贪婪算法(greedy algorithm)求解<sup>[3]</sup>。

覆盖模型在理论上都可归结为整数规划问题,属于确定性模型。实际上,伤病员后送问题比一般的选址问题更为复杂,覆盖模型只是以覆盖目标为函数,而且以设施(后送时即为后送工具)一直持续可供使用为基础。在低强度作战情况下,这种假设是没有问题的,而在高强度作战条件下,频繁的伤员后送请求(frequent casualty call)可导致后送工具正在途中而不能被利用。事实上,由于其他一些原因,如机械维护保养、驾驶人员休息、战斗损失、替换滞后等,总有一些运输工具不能得到使用,这就是后送工具可供使用的随机性。因此 ReVelle C 等人提出了随机性集合覆盖问题(probabilistic location set covering problem,简称 PLSCP)<sup>[4]</sup>。美军在 20 世纪 90 年代后期以 PLSCP 作为核心部分,开发了伤病员后送运力优化配置模型(optimal placement of casualty evacuation,简称 optevac)<sup>[5,6]</sup>。

2.1 随机性集合覆盖模型 随机性集合覆盖问题的目标是使得战区内所需后送工具的数量最小,同时考虑到后送工具的可供利用的随机性因素。理论模型如下:

$$\text{目标函数: } \min z = \sum_{j \in J} x_j \quad (1)$$

$z$  是分布在整个战区内的各个伤病员节点的后送工具数量的和;  $J$  为伤病员后送节点  $j$  的集合;  $x_j$  为整数,表示配置在某个伤病员后送节点  $j$  的后送工具数量,并满足如下约束:

$$\sum_{j \in J} x_j \geq b_i \quad (2)$$

而  $b_i$  是满足下列要求的最小整数:

$$1 - \left( \frac{F_i}{b_i} \right)^{b_i} \geq 0.95 \quad (3)$$

$F_i$  为根据各种后送工具时速、容量以及各个伤员集结点伤病员数量计算的总的需要量。

推导过程:首先定义后送工具的平均繁忙率  $q_i$ :

$$q_i = \frac{t \cdot \sum f_k}{24 \sum x_j} \quad (4)$$

其中  $t$  为完成一次后送所需的平均时间(h),该时间的值为伤病员节点与后送机构的平均距离与各种后送工具加权平均速度的比值;  $f_k$  为在伤病员节点  $k$  处的后送请求频率,用次数/d 表示。表达式(4)的分子为围绕某个伤病员节点  $i$  每天所需要的服务时间,而分母为在同一区域每天可以获得的服务时间,因此该比值  $q_i$  可以认为是这个区域平均的繁忙概率。如果定义  $F_i = \frac{t \sum f_k}{24}$ ,那么公式(4)可以写成

$$q_i = \frac{F_i}{\sum x_j}, \text{ 对于 } \sum x_j \text{ 个后送工具来说,总的繁忙可能性即为 } q_i^{\sum x_j}, \text{ 而可能获得后送工具的概率即为 } 1 - q_i^{\sum x_j}, \text{ 也就可以写成 } 1 - \left( \frac{F_i}{\sum x_j} \right)^{\sum x_j}。$$

如果确定能够获得后送工具的确信度  $\alpha$  为 95%,意为如果按最小数量配置,有 95% 的把握满足伤病员后送的需求。也就是说

$$1 - \left( \frac{F_i}{\sum x_j} \right)^{\sum x_j} \geq 0.95 \quad (5)$$

上述公式可以理解为对某一个伤员集结点  $N_i$ ,后送工具的数量必须大于等于某个最小的整数值,才能满足工具可靠性的限制条件。公式(5)的更正规的写法可以用如下的线性不等式表示:

$$\sum_{j \in J} x_j \geq b_i, \text{ 而 } b_i \text{ 是满足方程 } 1 - \left( \frac{F_i}{b_i} \right)^{b_i} \geq 0.95 \text{ 的最小整数。}$$

换句话说,  $b_i$  的值取决于  $F_i$  和确信度  $\alpha$ 。

### 2.2 随机性集合覆盖模型的应用步骤

2.2.1 确定伤病员医疗后送方案 战时伤病员医疗后送采用分级救治的形式,因此在配置伤病员后送运力时首先要明确伤病员后送的方案。具体来说,就是要明确设置几级救治机构,每一级救治机构的数量及相应的救治范围和留治期限,伤病员后送

的集结或换乘点,伤病员后送的路线,伤病员后送的方式是逐级后送还是越级后送等。

2.2.2 确定各种可供利用的后送工具 战时伤病员后送往往是多种运输工具的混合,就地面而言,包括各型救护车、回程空车、救护装甲车等;海上伤病员后送包括救护艇、卫生运输船、医院船等专用卫生船舶以及各种经过改装的船只,有条件时可以利用直升机后送伤病员。在确定伤病员后送工具的同时,要了解每一种工具的容量、时速等参数以及可供使用的数量等数据。

2.2.3 利用模型求解 首先根据各种后送工具不同的时速、容量以及各个伤员集结点伤病员数量,计算出  $F_i$ ,即总的后送工具的需要量;然后采用牛顿-拉斐森(Newton-Raphson)迭代法计算非线性方程,求出每一个需求点所需的最小数量  $b_i$ ,再将每一个  $b_i$  代入约束条件矩阵,这个矩阵应该有  $i$  个方程(需求点数目)和  $j$  个变量(救治机构的数目)。最后用单纯型法求解。

2.3 伤病员后送中的若干随机变量特征及其理论概率分布 随机性集合覆盖模型虽然解决了后送工具的可获得性这一不确定因素,然而伤病员后送是一个复杂的社会问题,存在诸多不确定性,需要从系统建模与仿真的角度出发,分析探讨伤病员后送中的若干随机因素及其特征,从而确定相应的理论概率分布,为仿真模型的设计提供依据。就伤病员后送中的几种随机变量而言,可以说没有任何历史数据可供参考。由于没有可利用的经验数据,我们只能采用判断建模法从常见的几种概率分布中选择<sup>[7]</sup>。

2.3.1 后送工具的可获得性与能够获得后送工具的确信度  $\alpha$  如前所述,由于各种原因,总有一些运输工具不能得到使用,这就是后送工具可供使用的随机性,亦即可获得性(availability)。在随机性集合覆盖模型中需要首先确定能够获得后送工具的确信度  $\alpha$ ,虽然我们对  $\alpha$  的概率分布一无所知,确信度  $\alpha$  的取值是任意的,但根据上述美军的文献,一般不超过 80%~99%的区间,可以指定  $\alpha$  应当落入区间  $[0.80, 0.99]$ 。而且因为我们没有理由认为这个区间内的任意一个值比其他值更可能出现,因此可以选择均匀分布(uniform distribution)。从实战的角度来看,笔者认为确信度不宜低于 90%。

2.3.2 伤病员装载方式、后送工具的容量和速度 根据伤病员的伤情特点和严重程度,伤病员的装载方式有三种:轻伤员、重伤员和混乘,而后送工具的容量又直接与伤病员装载方式有关。通常来说,装

载轻伤员时,伤员体位一般采取坐位,因伤员所占空间小,此时后送工具容量最大;装载重伤员时,伤员体位一般取卧位,因而伤员所占空间大,此时后送工具容量最小;而轻重伤员混乘时,后送工具容量介于两者之间。在历次作战中,我军后送伤病员在大多数情况下,采取轻重混乘的方式。根据这样的特性,可以选择三角分布(triangular distribution)。三角分布由三个参数来定义:最小值  $a$ 、最大值  $b$  和最可能值  $c$ 。临近最可能值的结果比那些位于端点的结果有较大的出现机会。通过改变最可能值相对于端点值的位置,三角分布可以是对称的,或者偏向两个方向的任一个。对于伤员后送工具的容量来说,最小值就是装载轻伤病员时的容量,最大值就是装载重伤病员的容量,最有可能值就是轻重伤员混乘时的容量。

由于战斗情况错综复杂,后送工具的速度受到天气、地形、敌情威胁等因素也会出现波动,而且这种波动也是随机的,可以根据有关文献用落在某个区间的均匀分布的随机数来表示。

2.3.3 后送工具的有效工作时间 后送工具的有效工作时间是随机变化的,美军并无明确的规定,有的文献采用的是 8 h,有的则用 24 h。笔者认为,这两个数值都不正确。之所以取 8 h,是因为目前平时每天工作 8 h,而在战时这个工作时间肯定不止 8 h,但就是再增加,也不会到 24 h,毕竟后送工具不是一般的仪器,可以满负荷地 24 h 连续工作,必须有一定的时间检修、保养、维护,而且驾驶员也需要休整。那么未来作战后送工具的工作时间究竟设为多少,笔者认为,可以参考手术的平均工作时间。在预计手术力量需要量时,通常把平均有效工作时间设为 16~20 h,因此后送工具的有效工作时间也可设定为在 16~20 h 区间。参照确信度  $\alpha$  的做法,通常可以用  $[16, 20]$  均匀分布的随机数来表达后送工具的有效工作时间。然而从作战的实际情况考虑,笔者认为在战争这样特定的环境下,作为参战人员,需要爆发出极大的工作热情,尽可能发挥自身的主观能动性,因此笔者倾向于使用三角分布来表达有效工作时间,最小值为 16 h,最大值为 20 h,而最可能的值取 18 h 或 19 h 为妥。

2.4 伤病员后送运力预计与优化配置仿真模型的构想 蒙特卡罗方法是最常用的计算机模拟方法,其基本思想是生成模仿实际随机变量的随机数并且运行这些随机模拟模型,然后在所获得的数据的基础上进行统计处理以获取对于系统输出变量统计特征<sup>[8]</sup>。就伤病员后送运力预计与配置而言,可以以

随机性集合覆盖模型为基础,对该模型中尚未完全解决的不确定因素,如能够获得后送工具的确定量、后送工具的容量及速度、后送工具的有效工作时间等,参照前面确定的理论分布,用符合某种理论分布的随机数加以模拟。如对确信度  $\alpha$ ,可以用 $[0.80, 0.99]$ 均匀分布的随机数来模拟;然后编写程序,在计算机上反复重复运行,最后对运行结果进行统计学分析。

### 3 讨论

伤病员后送运力预计与配置不是一个单纯的数学问题,不能照搬运筹学的有关模型来解决。本文设计的仿真模型以确定型运筹学模型为基础,充分考虑伤病员后送的各种不确定因素,把两者有效的结合起来,用系统仿真的方法和手段加以解决。我国是一个发展中国家,经济实力还不雄厚,用于伤病员后送的专用运力还相对缺乏。如何优化配置现有的卫生运力,发挥现有装备的最大效益,在目前军事斗争准备中显得尤为重要。我们认为以随机性集合覆盖模型为核心的仿真模型可以较好地解决未来联合作战伤病员后送运力的优化配置问题。本文主要介绍了该模拟模型的设计思想,如何编写计算机程

序,在计算机上实现并为各级卫勤领导使用,是需要我们今后进一步深入研究的课题。

### [参考文献]

[1] 梁建岭. 卫勤力量预计[M]//白书忠. 中国军事后勤百科全书 卫生勤务卷. 北京:金盾出版社,2002:223-224.  
 [2] 陆增祺. 军事医学辞典[M]. 上海:上海辞书出版社,1997:68-69.  
 [3] 蔡临宁. 物流系统规划——建模及实例分析[M]. 北京:机械工业出版社,2003:36-44.  
 [4] ReVelle C, Hogan K. The maximum reliability location problem and  $\alpha$ -reliable p-center problem: derivatives of the probabilistic location set covering problem[J]. Ann Operat Res,1989, 18:155-174.  
 [5] Sundstrom SC, Blood CG, Matheny SA. The optimal placement of casualty evacuation assets: a linear programming model[R]. ADA306020. 1996.  
 [6] Matheny SA, Keith DC, Sundstrom SC, et al. A medical planning tool for projecting the required casualty evacuation assets in a military theater of operations[R]. ADA335748. 1998.  
 [7] 詹姆斯 R, 埃文斯, 戴维 L, 奥尔森. 模拟与风险分析[M]. 洪锡熙 译. 上海:上海人民出版社,2001: 59-64.  
 [8] 王可定. 作战模拟理论与方法[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1999:313-320.

[收稿日期] 2005-11-17

[修回日期] 2006-02-23

[本文编辑] 尹 荼

### Ginsenosides may reverse the dexamethasone-induced down-regulation of glucocorticoid receptor

Ling C, Li Y, Zhu X, Zhang C, Li M(Department of Chinese Traditional Medicine, Changhai Hospital, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China)

[ABSTRACT] The effects of glucocorticoid (GC) hormones are mediated via an intracellular receptor, the glucocorticoid receptor (GR). It has been established that glucocorticoid down-regulate GR. Ginsenosides (GSS) from extract of Panax ginseng have demonstrated glucocorticoid-like activities in homeostasis and regulation of immunity, etc. We hypothesize that ginsenosides might mediate some of their actions by binding to the GR. The present study is aimed to determine whether GSS can act like a GC analog in the activation of glucocorticoid response element-luciferase activity in HL7702 cells. We found that GSS alone had no effect on the expression of reporter gene, but it enhanced dexamethasone (Dex)-induced transcription of reporter gene. To further explore the effects of GSS, we examined the influence of GSS on the gene and protein expression as well as hormone binding activity of GR by semi-quantitative RT-PCR, Western blot, and radioligand-binding assay, respectively. GSS partially reversed the Dex-induced decrease in GR expression and hormone binding activity with an optimal dose of 25 microg/ml, implicating a positive regulatory effect of GSS on GR expression and binding activity. Therefore, our result suggests that GSS may reverse partially the dexamethasone-induced down-regulation of glucocorticoid receptor.

[Gen Comp Endocrinol,2005,140: 203-209]