

DOI:10.16781/j.0258-879x.2017.03.0374

海上前沿外科手术队编配方案的仿真与优化

邢海¹, 江雷¹, 邓月仙¹, 马兵², 秦超^{1*}

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. 第二军医大学长海医院烧伤科, 上海 200433

[摘要] **目的** 探讨海上前沿外科手术队的编配方案,推算相应的技战术指标。**方法** 借鉴外军前沿外科手术队的理念与经验,通过头脑风暴法和德尔菲法进行勤务咨询,构建海上前沿外科手术队的概念模型和3种编配方案。运用专业仿真软件 ProModel 对3种方案进行仿真与优化。**结果** 方案1:适用于1张手术台,编配6人,术后床位2张,昼夜伤员通过量为10人。方案2:适用于2张手术台,编配10人,术后床位4张,昼夜手术量为21人。方案3:适用于3张手术台,编配15人,术后床位6张,昼夜手术量为31人。**结论** 3种方案的提出、仿真和优化为海上前沿外科手术队的建设提供了决策支持。

[关键词] 海上前沿外科手术队; ProModel; 利用率; 仿真模型

[中图分类号] R 831.6 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2017)03-0374-05

Simulation and optimization of navy forward surgical team allocation scheme on the sea

XING Hai¹, JIANG Lei¹, DENG Yue-xian¹, MA Bing², QIN Chao^{1*}

1. Department of Health Service, Faculty of Health Services, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China
2. Department of Burns, Changhai Hospital, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

[Abstract] **Objective** To explore the allocation scheme of the navy forward surgical team (NFST) and to obtain the related technical and tactic indicators on the sea. **Methods** We borrowed the theory and experience of foreign forward surgical team and conducted service consultation through Brainstorm method and Delphi method; we created the conceptual model of NFST, including three allocation schemes. The professional simulation software ProModel was used to simulate and modify these schemes. **Results** The first scheme (Scheme 1) was used for one surgical bed, 6 medical staffs and 2 post-surgical beds, with the daily number of surgical patients being 10. The second scheme (Scheme 2) was used for two surgical beds, 10 medical staffs and 4 post-surgical beds, with the daily number of surgical patients being 21. The third scheme (Scheme 3) was used for three surgical beds, 15 medical staffs and 6 post-surgical beds, with the daily number of surgical patients being 31. **Conclusion** The proposal, simulation and optimization of three allocation scheme in this study can help the decision-making in the establishment of NFST.

[Key words] navy forward surgical team; ProModel; utilization; simulation model

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2017, 38(3): 374-378]

前沿外科手术队(forward surgical team, FST)是由美国陆军按照前沿复苏手术(forward resuscitative surgery, FRS)理念率先提出、研究和应用的一种机动卫勤力量^[1]。经过二十多年的建设

发展和实战检验, FST 不仅拓展到美国海军和空军^[2-3], 还推广到英国、法国、德国、芬兰、挪威等多个发达国家的军队^[4-5]。外军经验表明, FST 在伊拉克、阿富汗等战争, 以及维稳、救灾等非战争军事行

[收稿日期] 2017-01-06 **[接受日期]** 2017-03-03

[基金项目] 军队“2110”工程重点建设项目“后方专业勤务”教学改革研究(66), 军队“1226工程”重点项目(AWS16J031)。Supported by “Rear Professional Service” Teaching Reform Key Program of “2110 Project” of PLA (66) and Key Program of “1226 Project” of PLA (AWS16J031).

[作者简介] 邢海, 硕士生。E-mail: 644825983@qq.com

* 通信作者 (Corresponding author). Tel: 021-81871424, E-mail: chao.qin@smmu.edu.cn

动中均能加强一线救治能力,有效降低伤员特别是危重伤员的死亡率和致残率。在借鉴国外 FST 相关研究和运行经验的基础上,本研究构建了我军海上前沿外科手术队(naval forward surgical team, NFST)的概念模型和仿真模型,旨在为加强和丰富军队海上卫勤力量提供理论支持和决策依据。

1 NFST 的概念模型

1.1 方案论证 以国内外 FST 的研究和实践为基础,本研究组织了第二军医大学卫生勤务专家运用头脑风暴法进行讨论,形成 NFST 概念模型各要素的基本定义并初步拟定了咨询表。随后,采用德尔菲法将咨询表以函调的形式寄送给 15 名卫生勤务专家(勤务专家均参加过远航和海上重大任务,具有丰富的卫生勤务科研和管理经验)。经过两轮函调咨询,卫生勤务专家对概念模型的意见基本趋于一致。在两轮咨询结果的基础上,组织来自海军医学科研及医疗机构包括部队卫勤、战勤负责人在内的专家召开了第 1 次 NFST 卫生勤务论证会;在海军指挥学院与该学院后勤与装备教研室、战役教研室等相关专家举行了第 2 次勤务论证会,最终确定 NFST 概念模型各要素内涵定义。

NFST 是一种小型的、机动性强的综合手术队,能够对需要立即进行手术救治才能挽救生命的伤员进行及时的手术治疗。相较于海上机动医疗队, NFST 的人员规模更小,机动性更强。不同于专科手术队, NFST 的救治范围为紧急救命手术和损伤控制性手术,而非确定性手术^[6-7]。本研究设计了 3 种 NFST 的概念、模型,分别适用于具备 1、2、3 张手术台的舰船,并确定了 3 套方案技战术指标的初步构想。

1.2 组织编成 NFST 开设术前准备组、手术组、术后观察组。术前准备组编配 1 名中级(含)以上专业技术职称的急诊科护士,负责伤员接收、评估伤情与分类、排定手术次序以及术前准备;手术组编配医生、麻醉师和护士,负责对伤员进行前沿外科手术治疗;术后观察组编配重症监护护士,负责对术后伤员进行复苏处理。根据我军舰船手术台配置的实际状况,制定了 3 种人员编配方案(表 1)。3 种方案所需的术后观察床位数均为 5 张。

表 1 3 种人员编配方案

人员	n		
	方案 1	方案 2	方案 3
术前准备组护士	1	1	1
手术组外科医生	2	4	6
手术组麻醉医生	1	2	3
手术组护士	1	2	3
术后观察组护士	1	1	1
合计	6	10	14

1.3 配备布置和技战术指标 战时, NFST 主要加强到编队救护所,可配属至 071 型船坞登陆舰或各型综合补给舰。而在非战争军事行动中,可根据需要将 NFST 配置在具备大型医疗系统的舰船上。主要技战术指标如下:(1)手术能力,4~10 台/天;(2)编制人数,6~14 人;(3)展开手术台数,1~3 张;(4)平均手术时间,1~2 h;(5)术后处置时间,6~12 h;(6)展开术后观察床位,5~8 张。

2 NFST 的仿真模型

本研究基于 ProModel 软件,采用面向事件的仿真建模方法,对 NFST 概念模型的 3 种方案进行仿真建模。运用仿真分析检验并评估 3 种方案。通过模型参数和救治流程的修改,在 ProModel 中运行仿真模型评估 NFST 各功能组室的工作效率,进而优化 NFST 人员的组成和编配,完成最终设计^[8]。

2.1 仿真设计

2.1.1 系统流程 伤员从入口进入系统后,依次经历术前准备、手术治疗、术后观察,然后从出口退出系统(图 1)。NFST 主要加强到编队救护所,相当于海上医疗后送的第 2 级救治阶梯,稳定危重伤员的伤情后,再待机后送至海上医院船或码头救护所进行治疗。

2.1.2 系统变量 (1)术前准备时间(T1)。参考临床医生给出的经验值,将 T1 设定为均值 5 min、标准差 1 min 的正态分布随机变量。(2)排队时间。排队等待手术时间(T2)及排队等待术后治疗时间(T4)为系统内部变量。(3)手术时间(T3)和术后观察时间(T5)。咨询和收集临床专家的经验数据,经统计分析确定 T3 和 T5,由软件系统随机赋值。NFST 模型的输入变量见表 2。

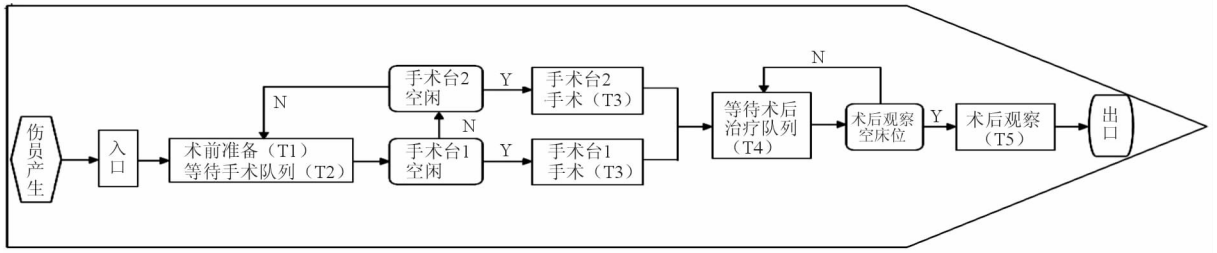


图1 2张手术台 NFST 的救治流程图

NFST: 海上前沿外科手术队; Y: 床位空闲, 伤员可直接接受治疗; N: 床位被占用, 伤员返回原队列排队等待床位空闲后再接受救治; T1: 术前准备时间; T2: 排队等待手术时间; T3: 手术时间; T4: 排队等待术后治疗时间; T5: 术后观察时间

表2 NFST 模型的输入变量

编号	名称	类型	输入方式	随机输入变量的概率分布
T1	术前准备时间	自定义变量	随机输入	正态分布
T2	排队等待手术时间	系统内部变量	系统生成	
T3	手术时间	自定义变量	随机输入	三角分布
T4	排队等待术后治疗时间	系统内部变量	系统生成	
T5	术后观察时间	自定义变量	随机输入	三角分布

NFST: 海上前沿外科手术队

2.1.3 模拟精度 根据咨询卫生勤务专家得出的结果,将单次模拟时间设定为 72 h,测试系统的稳定性和各项性能指标。经过测试,模拟次数达到 100 次时能够满足模拟的精度要求,各项性能指标均在容许误差范围内。因此,本研究中单次模拟时间设为 72 h,模拟次数设为 100 次。

2.2 疾病数据 确定手术时间和术后观察时间。在参考美军 FST 手册规定的 350 多种伤情编码(PC Code)的基础上,选取了 68 种适宜伤情,结合我军战伤救治规则(2006 版)所规定的紧急手术和损伤控制性手术范围^[9],制定专家咨询调查表。根据专业性和 NFST 的功能需求,选择分别来自海军部队、医院和科研院所的 13 名临床专家,且所有专家均参加过与海上伤员紧急救治、损伤控制性手术治疗相关的应急救援任务。通过两轮专家咨询,详细描述伤员的伤情特征,并确定伤员在各个功能组室的救治时间及其概率分布。

2.3 仿真结果

2.3.1 伤员通过量 Lamiell^[10]指出,医疗资源的合理利用率通常为 83%。当手术组人员利用率达到 83%左右的期望值时,昼夜伤员通过量即为伤员最大通过量。仿真结果表明,3 种方案的伤员最大通过量分别为 10、21、28 人(表 3)。

表3 3种方案的主要技战术指标

指标	方案 1	方案 2	方案 3
模拟时间 t/h	72	72	72
伤员到达数 n	30	63	93
伤员离开数 n	30	63	84
昼夜伤员通过量 n	10	21	28
平均手术时间 t/min	99.93	107.82	121.16
系统平均停留时间 t/min	725.39	768.31	898.28
平均等待时间 t/min	23.59	57.72	100.85

2.3.2 设备利用率 3 种方案的手术台和床位利用率如表 4 所示。

表4 3种方案的手术台和床位利用率

名称	方案 1	方案 2	方案 3
手术台 1	84.23	88.46	92.29
手术台 2		85.46	89.29
手术台 3			85.29
术后观察床 1	69.23	78.57	87.82
术后观察床 2	28.05	67.41	86.86
术后观察床 3	53.75	74.66	87.69
术后观察床 4	1.19	59.56	85.38
术后观察床 5	0.00	45.57	84.33

2.3.3 人员利用率 3 种方案中术前准备组、手术

组、术后观察组的人员利用率如表5所示。

表5 3种方案的人员利用率

名称	方案1	方案2	方案3
术前准备组护士	4.32	8.50	13.25
手术组医生1	80.43	80.50	83.43
手术组麻醉师1	80.43	80.50	83.43
手术组护士1	80.43	80.50	83.43
手术组医生2		77.55	80.69
手术组麻醉师2		77.55	80.69
手术组护士2		77.55	80.69
手术组医生3			76.97
手术组麻醉师3			76.97
手术组护士3			76.97
术后观察组护士	89.2	74.68	97.54

2.3.4 排队时间和队长 平均等待手术时间及人数,平均等待术后治疗时间及人数如表6所示。

表6 3种方案的排队时间和队长

名称	方案1	方案2	方案3
平均等待手术时间 t/min	412.86	416.33	406.01
平均等待术后治疗时间 t/min	3.56	9.02	145.25
平均手术队长(人)	3.03	6.12	8.74
平均术后治疗队长(人)	0.03	0.13	3.12

2.4 仿真模型的优化 3种方案的术前准备组人员均为1人,无需优化。受制于各型舰船固定的手术台数量,当手术台和手术组人员利用率接近饱和时,目前尚无更好的办法进行优化;因此,仅有术后观察组床位数、人员数可以优化。就整个系统而言,通过优化术后观察组的床位和人员配置,就能得出在手术组人员利用率达到期望值时 NFST 的最佳资源编配方案。

2.4.1 方案1的优化 初始模拟发现,方案1中术后观察组的床位利用率过低。因此,将原方案1中5张术后床位数依次减少为4、3、2、1张,在其他模拟条件不变的情况下重新模拟。结果发现,配备2张术后观察床和1名术后观察护士时,资源编配最为合理。其中术后观察床位的床位利用率分别为79.28%、72.35%,术后观察护士的利用率为41.01%。

2.4.2 方案2的优化 初始模拟发现,方案2中部分术后观察床的床位利用率偏低。将术后观察床逐

个减少重新模拟。结果发现,配备4张术后观察床和1名术后观察护士时,资源编配最为合理。其中术后观察床的床位利用率分别为85.06%、82.46%、77.08%、71.84%,术后观察护士的利用率为75.26%。

2.4.3 方案3的优化 5张术后观察床的床位利用率均高于84%,术后观察组护士的利用率高达97.54%,说明床位数和护士数均需调整。因此,将术后观察床分别增至6、7张,术后观察护士增至2名进行数据模拟。结果发现,配备6张术后观察床和2名术后观察护士时,资源利用率最佳。其中术后观察床的床位利用率分别为84.62%、82.56%、80.10%、75.89%、71.29%、66.66%,术后观察护士的利用率分别为65.38%、58.96%。

2.4.4 优化模型的主要技战术指标 通过对模型的仿真模拟与优化,得出3种方案优化后的主要技战术指标见表7。

表7 3种优化模型的主要技战术指标

主要技战术指标	方案1	方案2	方案3
昼夜伤员到达量 n	10	21	31
昼夜伤员通过量 n	10	21	31
平均手术时间 t/min	97.95	99.63	96.83
展开术后床位数 n	2	4	6
编制人数 n	6	10	15

3 讨论

战伤救治时效研究表明,战场阵亡人员中有20%若能得到积极治疗则可以生存,因此要降低阵亡率与伤死亡率就必须加强前沿医疗救治能力^[11]。跟陆上作战相比,由于海域开阔,舰艇空间狭小、战位密集、封闭分割,人员比较集中和暴露^[12],在战斗中突然同时或短时间会产生大量伤亡,因此其对紧急救命手术和损伤控制性手术的需求更为迫切。前沿复苏手术力量代表了卫勤保障的新趋势,即通过多功能性、可扩展性和机动性,实时实地提供高水平的保障^[13]。因此,将优良的手术力量前伸,将小型化、模块化的手术力量配置到战斗舰艇和勤务舰船中,有利于加强舰船一线救治能力,提高伤员的救治效率。

为了控制 NFST 的规模,一般不设置指挥组和

生活保障组。NFST 接受隶属机构和被加强机构的双重指挥,由被加强机构负责生活保障。NFST 的队长负责组织、管理以及与被加强救治机构的协调、沟通^[6]。由于舰船本身空间有限,本研究借鉴了美军 FST 的运作经验,取消了术前准备床位的设置,以减少资源配置、提高效率。各功能区的人员编配也是在不影响功能区任务需求的情况下按照最小人员量来进行配置,从而达到在有限空间内快速展开、高效运行的目的。

本研究描述了 NFST 的主要资源及内部逻辑关系,模拟了实体通过系统时的流程,推算了经过重复模拟之后系统输出的各项性能指标,提出了 NFST 资源与流程的优化方案。对 NFST 概念、结构和方案的讨论和分析,为我军未来建设与使用海上前沿外科手术力量提供了理论参考和决策依据。

[参考文献]

- [1] STINGER H, RUSH R. The army forward surgical team: update and lessons learned, 1997-2004[J]. Mil Med, 2006, 171: 269-272.
- [2] TENNYSON R M. A study of fleet surgical teams readiness posture in amphibious readiness groups[D]. Monterey, California: Naval Postgraduate School, 2000: 1-6.
- [3] NIX R E, ONOFRIO K, KONOSKE P J, GALARNEAU M R, HILL M. The Air Force Mobile Forward Surgical Team (MFST): using the estimating supplies program to validate clinical requirement[R]. ADA429957, 2004.
- [4] BONNET S, BERTANI A, SAVOIE P H, MATHIEU L, BODDAERT G, GONZALEZ F, et al. Humanitarian surgical care provided by a French forward surgical team: ten years of providing medical support to the population of the Ivory Coast[J]. Mil Med, 2014, 180: 1075-1082.
- [5] HANDOLIN L, ELOMAA T. The Finnish forward surgical team experience during EUFOR operation RD Congo in 2006[J]. Eur J Trauma Emerg Surg, 2007, 33: 245-250.
- [6] 江雷. 前沿外科手术队仿真模型的构建与应用研究[D]. 上海: 第二军医大学, 2007.
- [7] 秦超. 前沿外科手术队勤务手册[M]. 上海: 第二军医大学出版社, 2013: 55.
- [8] 蔡建峰. 管理系统模拟[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 10-13.
- [9] 总后勤部卫生部. 战伤救治规则[M]. 北京: 解放军出版社, 2006: 1-2.
- [10] LAMIELL J M. Modeling intensive care unit census [J]. Mil Med, 1995, 160: 227-232.
- [11] 吴乐山, 孙建中. 现代军事医学战略研究[M]. 北京: 军事医学科学出版社, 2004: 107.
- [12] 陆云, 曹诚意, 李甫. 海军卫生勤务学[M]. 北京: 海潮出版社, 1993: 432.
- [13] PLACE R J. Forward surgical team (FST) workload in a special operations environment: the 250th FST in Operation ENDURING FREEDOM[J]. Curr Surg, 2003, 60: 418-422.

[本文编辑] 惠朝阳, 曾奇峰