

考虑外科医生绩效的择期手术占台问题研究*

秦春蓉¹, 罗永², 罗利², 龚仁蓉³

(1. 重庆邮电大学 移通学院 工商管理系, 重庆 合川 401520;

2. 四川大学 商学院, 成都 610064; 3. 四川大学 华西医院, 成都 610041)

摘要:考虑到择期手术排程过程中,不同的主刀医生可能会告诉手术排程中心虚假的手术需求信息。在收益函数中引入惩罚成本,分析了主刀医生虚报手术台数对收益函数的影响。数值算例结果表明,适当的惩罚成本能有效解决择期手术排程过程中虚报手术台数问题,以到达在主手术日多排一些手术的目的。

关键词:惩罚成本;择期手术;手术占台;排程

中图分类号:O224;C935

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2016)02-0020-06

择期手术停台不仅带来额外的工作量,也造成了资源浪费。不必要的床位占用,浪费了手术时间及各种不必要的检查^[1]。在所有的这些影响里面,手术时间的浪费被认为是代价最高的^[2]。择期手术在手术当日停台通常被认为是不合理的。据对美国医院预算的不完全统计,手术每停台1 h 对每个手术间造成的平均损失为1 430~1 700美元^[3-4]。择期手术最好能够按照排程的日期实施,否则无论是停台还是择日再做,对医生、医院、病人及社会都会增加成本^[5]。

据调研,H医院的手术室管理与资源调度由各外科护理单元与手术室调度中心配合完成。手术提前1 d 排程的为超短期手术排程。工作日每日的8:00~11:00,各个科室护理单元的秘书负责收集次日主刀的每位医生的手术信息,手术信息包括:每位医生的手术及内部顺序,经整理后提交到手术室调度中心,并由手术调度中心的护士排程。在每日的13:00~16:00,主刀医生有一次修改之前提交的手术信息的机会,手术调度中心的护士会更新手术排程信息。手术排程方案生成后再反馈到各个科室以备医生与病人准备。

本文统计了2011.10.8~2011.10.31期间共计18个工作日的眼科手术排程量和实际手术量(图1、图2)。单从数量看两者相差比较大,排程的手术信息和实际手术的病人信息能完全匹配的就更少。出现这种情况的原因是手术实施过程中存在停台和加台的情况。前一日手术排程信息的变化致使手术调度中心在手术当日再次调度,这种现象被H医院的手术调度中心称作二次调度。目前,还没有手术占台的统一定义,本文的占台是指由于手术室资源稀缺,主刀医生实际的手术数量不足1 d 的手术量,但为了在主手术日全日占用手术间或尽可能多地占用手术间而提交不真实的手术信息,这些不真实的手术信息将被当做真实的手术信息来排程。在提交次日手术信息的时候,考虑到会有新的手术需求到达,有些主刀医生会多报手术需求量即所谓的占台。一旦出现新的手术需求,主刀医生申请将占台的手术信息替换为当日真实实施的手术信息;如果没有新的需求到达,主刀医生只能停台,手术调度中心再联系其他医生接台,如果找不到合适的医生接台,便会造成宝贵的手术室资源浪费。为了改善占台问题,H医院会在每个工作日的下午13:00~16:00再收集1次次日的手术信息。尽管如此,占台问题还很严重。

在国外,一些医院的手术医生必须购买手术间的使用时长。目前,国内还尚无医院采取这种措施。本文试图通过设置惩罚成本来解决手术占台问题,一旦医生占台就要付出相应的惩罚成本。这样,医生在提交手术信息时就会权衡占台的利弊,适当控制占台手术的数量。

关于手术停台方面的研究很多^[6-10]。Joshua等^[11]研究了退伍军人健康管理系统中择期手术的停台率、停台

* 收稿日期:2015-06-24 修回日期:2015-10-12 网络出版时间:2016-1-20 21:26

资助项目:国家自然科学基金(No. 71131006; No. 71172197; No. 70771068);重庆市科技研究项目(No. KJ1502001)

作者简介:秦春蓉,女,副教授,博士,研究方向为医院管理和收益管理;E-mail:jianghu525@126.com

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20160120.2126.030.html>

原因,并且识别其中可以改善的因素。Sanjay等^[12]调查了12个月的手术情况,识别了日间手术和住院病人择期手术的停台率及停台相关原因。目前,停台率都是用停台的手术数量除以总共排程的手术数量来表示^[13-15]。最近,有学者用手术时间来衡量^[16-18]。Jesse等^[19]探索用停台手术数量和停台手术时长两种方式来计算停台率。Franklin等^[20]通过不同的统计方法来评估手术当天择期手术停台的有效性。

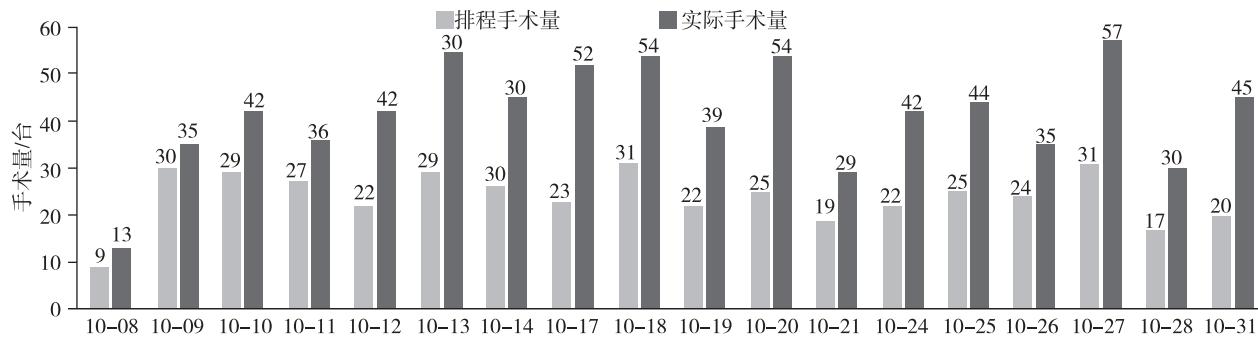


图1 2011年10月工作日各日的眼科排程手术量和实际手术量

Fig. 1 The scheduling surgical numbers and the actual surgical numbers on workdays in the ophthalmology department on October, 2011

已有研究很多都停留在分析手术停台的客观原因,并没考虑手术停台的主观原因——手术占台。本文把在物流、供应链和航空铁路运输方面运用比较成熟的惩罚成本借鉴到择期手术中来,目的是有效控制手术排程过程中主刀医生虚报手术台数,尽量减少手术的二次排程。

1 问题描述及分析

N 表示真实手术量; M 表示占台手术量; F 表示最大占台手术量; t 表示单台手术时长(min); T 表示手术室的正常开放时长(min); C 表示单台手术加台成本; V 表示单台手术停台成本; r 表示单台手术收益, $r > 0$; $p(i)$ 表示占台手术 i 能被加台的概率, 其中 $i = 1, 2, \dots, M$, $p(i)$ 关于 i 单调递减, 不妨设 $p(i) = e^{-\frac{i}{\lambda}}$, λ 是可通过历史数据计算出来的对 $p(i)$ 起调节作用的正常数, $p(i)$ 关于 λ 单调递增; $x_i = \begin{cases} 1, & \text{占台手术 } i \text{ 被加台} \\ 0, & \text{占台手术 } i \text{ 被停台} \end{cases}, i = 1, 2, \dots, M$ 。

不妨设:

$$V > C, \quad (1)$$

$$(N + F) \times t \leq T, \quad (2)$$

$$M \leq F. \quad (3)$$

其中(2)式表明真实手术时间与最大占台手术时间之和不能超过手术室的正常开放时长。

收益函数为:

$$\begin{aligned} R(r, C, V, M) &= rN + \sum_{i=1}^M p(i)(r - C) + \sum_{i=1}^M (1 - p(i))(-V) = \\ &rN + \sum_{i=1}^M e^{-\frac{i}{\lambda}}(r - C) + \sum_{i=1}^M (1 - e^{-\frac{i}{\lambda}})(-V) = rN - MV + (r - C + V) \frac{e^{-\frac{1}{\lambda}} - e^{-\frac{M+1}{\lambda}}}{1 - e^{-\frac{1}{\lambda}}}. \end{aligned} \quad (4)$$

为了更好地模拟收益函数的结果,将(4)式改写为:

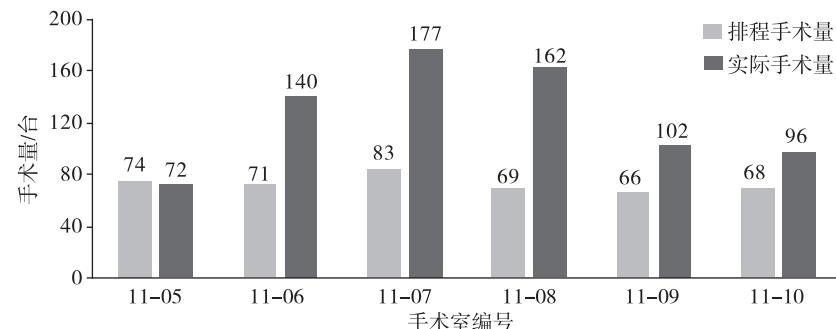


图2 2011年10月工作日各眼科手术室的排程手术量和实际手术量

Fig. 2 The scheduling surgical volume and the actual surgical volume of each operation room in the ophthalmology department on October, 2011

$$R(r, C, V, M) = rN + \sum_{i=1}^M x_i(r - C) + \sum_{i=1}^M (1 - x_i)(-V) . \quad (5)$$

运用 Matlab 计算收益函数的具体步骤为:1) 在 Matlab 中,随机生成 M 个 0 到 1 之间的随机数;2) 在生成的这些随机数中,如果第 i 个随机数小于概率 $p(i)$,则改记此随机数为 1,否则改记为 0。由此得到 M 个 0-1 变量,记为向量 \mathbf{Y} ;3) 依次检验向量 \mathbf{Y} ,如果向量 \mathbf{Y} 的第 i 个元素为 0,则把向量 \mathbf{Y} 的所有 i 之后的元素置为 0。这意味着:如果占台手术 i 被停台,则之后的所有占台手术 $i+1, i+2, \dots$ 都会被停台。由此得到 M 个新的 0-1 变量,记为向量 \mathbf{X} , \mathbf{X} 的第 i 个元素记为 x_i ,将 x_i 代入 $R(r, C, V, M)$ 并计算结果;4) 重复步骤 1)~3) 共计 10 000 次,并将这 10 000 个 $R(r, C, V, M)$ 的平均值作为最终的收益值 R 。

2 结果讨论

收益函数 $R(r, C, V, M)$ 对 M 求导得:

$$R' = \frac{\partial R(r, C, V, M)}{\partial M} = -V + \frac{r - C + V}{\lambda(1 - e^{-\frac{1}{\lambda}})} e^{-\frac{M+1}{\lambda}} . \quad (6)$$

1) 当 $C = V = 0$ (H 医院的现状)时, $R' = \frac{re^{-\frac{M+1}{\lambda}}}{\lambda(1 - e^{-\frac{1}{\lambda}})} > 0$ 恒成立,为了获得更多的收益,主刀医生在手术日会尽可能多报手术需求量。

2) 当 $V > C > 0$ 时,令 $R' = 0$,得到 $M_0 = -1 - \lambda \ln \frac{\lambda V(1 - e^{-\frac{1}{\lambda}})}{r - C + V}$ 。当 $M > M_0$ 时, $R(r, C, V, M)$ 是 M 的减函数,占台手术量越少对医生越有利;当 $M \leq M_0$ 时, $R(r, C, V, M)$ 是 M 的增函数,占台手术量越多对医生越有利。并且,若 $M_0 > 0$,医生的最优手术占台量为 M_0 。

3 数值算例

为了进一步说明结果,下面分 λ 取值较大, λ 取值适中和 λ 取值较小 3 种情况来讨论(图形中的水平虚线表示医生不占台情况下的收益)。

算例中用到的参数取值如表 1 所示。

(a) λ 取值较大, $\lambda > F$, 取 $\lambda = 12$;

表 1 数值算例中用到的各参数取值

Tab. 1 The value of the parameters used by numerical example

N	T	t	模拟次数 k	F
5	480	30	10 000	11

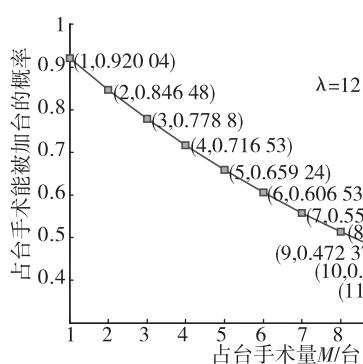


图 3 $\lambda=12$ 时 p 与 M 的关系

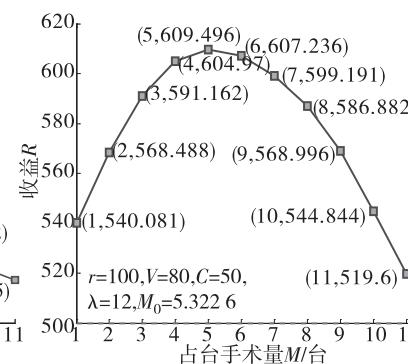


图 4 $r > V > C$ 时 R 与 M 的关系

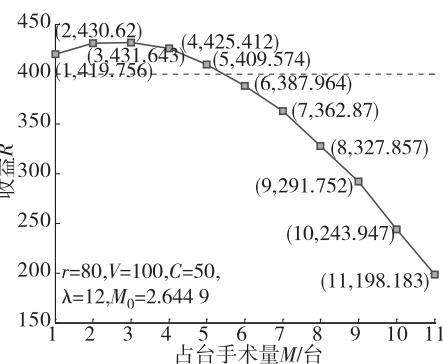


图 5 $V > r > C$ 时 R 与 M 的关系

Fig. 3 The relationship between p and M when $\lambda = 12$

Fig. 4 The relationship between R and M when $r > V > C$

Fig. 5 The relationship between R and M when $V > r > C$

(a) 场景下,图 4~图 6 可以证实,当 $M > M_0$ 时, $R(r, C, V, M)$ 是 M 的减函数,虚报的手术量越少对医生越有利;当 $M \leq M_0$ 时, $R(r, C, V, M)$ 是 M 的增函数,此时虚报的手术量越多对医生越有利。如果 M_0 为正数,则医生的最优策略是虚报 M_0 台手术。而且,当 λ 取值较大(图 3),占台手术有很大可能被医生新到达的手术需求替代时,在单台手术收益很高,甚至比停台成本和加台成本都高时(图 4),医生虚报的手术台数越多,收益越大。此时,可以通过调整 V 、 C 及 r 的取值,使得 $V > C > r$,进而减小 M_0 ,达到控制虚报手术台数的目的。

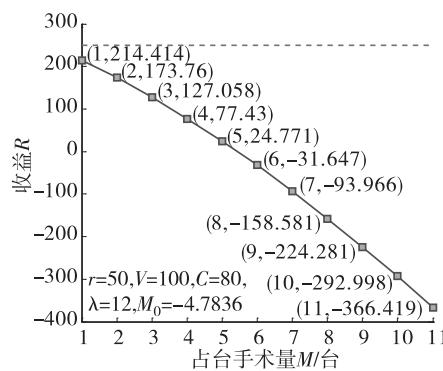
图 6 $V > C > r$ 时 R 与 M 的关系

Fig. 6 The relationship between R and M when $V > C > r$

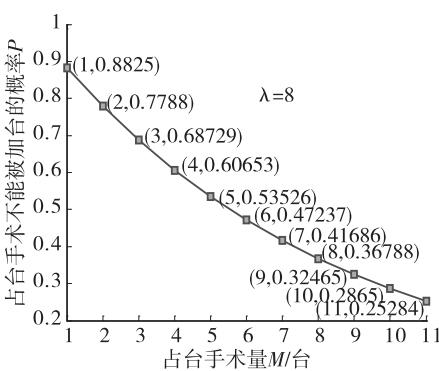
图 7 $\lambda=8$ 时 p 与 M 的关系

Fig. 7 The relationship between p and M when $\lambda=8$

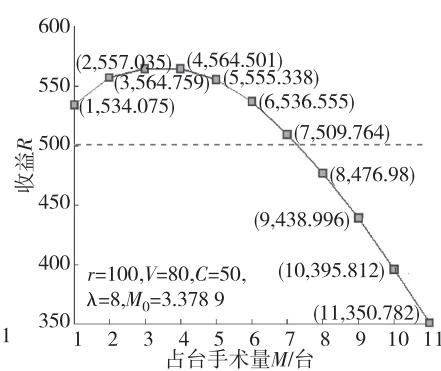
图 8 $r > V > C$ 时 R 与 M 的关系

Fig. 8 The relationship between R and M when $r > V > C$

(b) λ 取值适中, $1 < \lambda < F$, 取 $\lambda=8$;

(b) 场景下, 图 8~10 可以证实, 当 $M > M_0$ 时, $R(r, C, V, M)$ 是 M 的减函数, 虚报的手术量越少对医生越有利; 当 $M \leq M_0$ 时, $R(r, C, V, M)$ 是 M 的增函数, 此时虚报手术量越多对医生越有利。如果 M_0 为正数, 则医生的最优策略是虚报 M_0 台手术。当 λ 的取值适中(图 7), 即占台手术被医生新到达的手术需求替代的可能性不是特别大时, 即便单台手术收益高于停台成本和加台成本(图 8), 医生也不会无限虚报占台手术量。对比图 8~图 10, 只要调整 V 、 C 及 r 的取值, 使得 $V > C > r$, 就可以达到控制虚报手术台数的目的。

(c) λ 取值较小, $0 < \lambda < 10$, 取 $\lambda=0.6$;

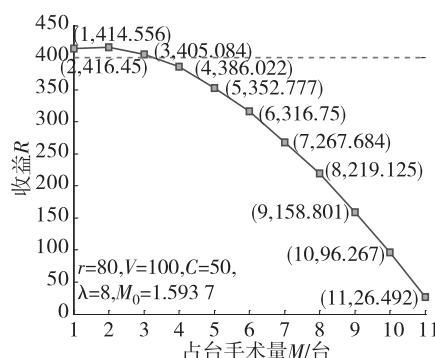
图 9 $V > r > C$ 时 R 与 M 的关系

Fig. 9 The relationship between R and M when $V > r > C$

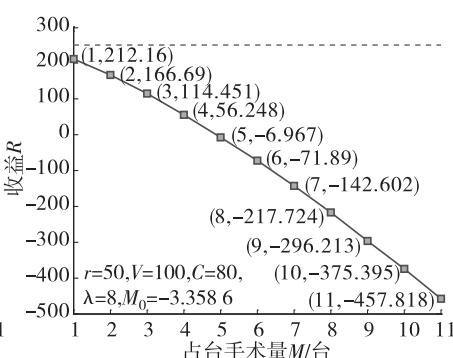
图 10 $V > C > r$ 时 R 与 M 的关系

Fig. 10 The relationship between R and M when $V > C > r$

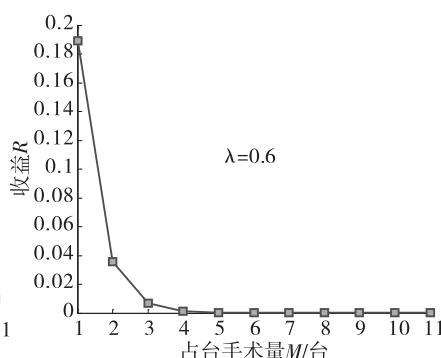
图 11 $\lambda=0.6$ 时 p 与 M 的关系

Fig. 11 The relationship between p and M when $\lambda=0.6$

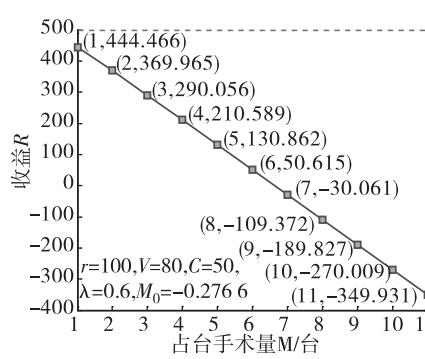
图 12 $r > V > C$ 时 R 与 M 的关系

Fig. 12 The relationship between R and M when $r > V > C$

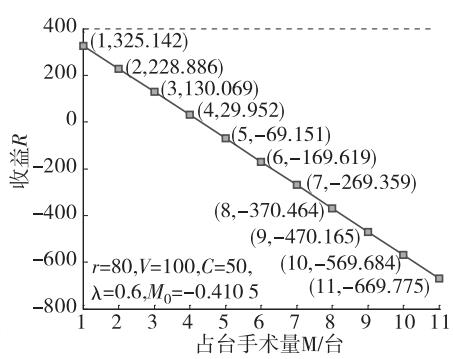
图 13 $V > r > C$ 时 R 与 M 的关系

Fig. 13 The relationship between R and M when $V > r > C$

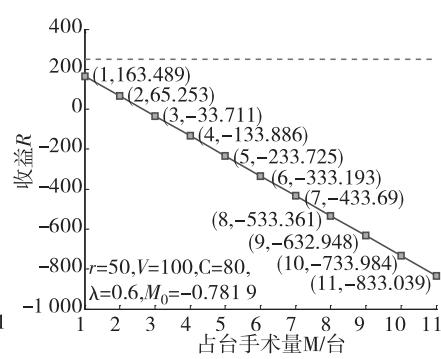
图 14 $V > C > r$ 时 R 与 M 的关系

Fig. 14 The relationship between R and M when $V > C > r$

(c) 场景下, 图 12~14 可以证实, 当 $M > M_0$ 时, $R(r, C, V, M)$ 是 M 的减函数, 即虚报的手术量越少对医生越有利。当 λ 取值较小(图 11), 即占台手术被医生新到达的手术需求替代的可能性非常小时, 即便单台手术收益

比停台成本和加台成本都高(图12),医生也不会虚报手术台数。

4 结论及管理建议

本文在收益函数中设置惩罚成本以应对手术占台问题,在虚报手术台数能被新到达的手术需求替补上的概率 $p(i)$ 满足式 $p(i)=e^{-\frac{i}{\lambda}}$ 的情况下,推算出了医生虚报的最优的手术台数为 $M_0=-1-\lambda \ln \frac{\lambda V(1-e^{-\frac{1}{\lambda}})}{r-C+V}$;通过讨论医生虚报手术能被新到达手术替补的概率大小,确定出最优的占台策略,并利用 Matlab 编程进一步验证策略的有效性。

在实际的手术排程中,可以根据历史数据测算出 λ 。如果 λ 的取值很小,只要存在惩罚成本,通常情况下,外科医生不会占台;如果 λ 的取值很大,可以通过设置合适的惩罚成本,如本文的替代成本、取消成本,使得 $V>C>r$,确定出医生的最优占台手术量 M_0 ,以减少手术当目的停台和二次排程。

在管理过程中,考虑到稀缺资源在不同用户之间存在竞争,可以制定适当的奖惩制度,对虚报需求的行为予以惩罚,惩罚所得奖励给提供真实需求的用户,从而达到鼓励用户提供真实需求,对稀缺资源合理分配的目的。

参考文献:

- [1] McWhinnie D L, Michaels J A, Collin J, et al. Resource implications of cancelled operations[J]. British Medical Journal, 1994(308):138-139.
- [2] Mangran J L. Total joint replacement: implication of cancelled operations for hospital costs and waiting list management[J]. Quality in Health Care, 1992(1):34-37.
- [3] Macario A, Dexter F, Traub R D. Hospital profitability per hour of operating room time can vary among surgeons[J]. Anesthesia and Analgesia, 2001(93):669-675.
- [4] Dexter F, Blake J T, Penning D H, et al. Calculating a potential increase in hospital margin for elective surgery by changing operating room time allocations or increasing nursing staffing to permit completion of more cases: a case study[J]. Anesthesia and Analgesia, 2002(94):138-142.
- [5] Tessler M J, Mitmaker L, Wahba R M, et al. Patient flow in the postanesthesia care unit: an observational study[J]. Canadian Journal of Anaesthesia, 1999(46):348-351.
- [6] Pollard J B, Zboray A L, Mazze R I. Economic benefits attributed to opening a preoperative evaluation clinic for outpatients[J]. Anesthesia and Analgesia, 1996(83):407-410.
- [7] Pollard J B, Olson L. Early outpatient preoperative anesthesia assessment: does it help to reduce operating room cancellations? [J]. Anesthesia and Analgesia, 1999 (89): 502-505.
- [8] Guyuron B, Zarandy S. Causes for cancellation of aesthetic and reconstructive procedures[J]. Plastic and reconstructive surgery, 1993(92):662-670.
- [9] van Klei W A, Moons K G, Rutten C L, et al. The effect of outpatient preoperative evaluation of hospital inpatients on cancellation of surgery and length of hospital stay[J]. Anesthesia and Analgesia, 2002(94):644-649.
- [10] Macarthur A J, Macarthur C, Bevan J C. Determinants of pediatric day surgery cancellation[J]. Journal of Clinical Epidemiology, 1995(48):485-489.
- [11] Joshua L A, Catherine C V, Laura A G, et al. Elective surgical case cancellation in the Veterans Health Administration system: identifying areas for improvement[J]. The American Journal of Surgery, 2009, 198(5):600-606.
- [12] Sanjay P, Dodds A, Mille E, et al. Cancelled elective operations: an observational study from a district general hospital[J]. Journal of Health Organization and Management, 2007, 21(1):54-58.
- [13] Hand R, Levin P, Stanzola A. The causes of cancelled elective surgery[J]. American Journal of Medical Quality, 1990(5):2-6.
- [14] Lau H K, Chen T H, Liou C M, et al. Retrospective analysis of surgery postponed or cancelled in the operating room[J]. Journal of Clinical Anesthesia, 2010 (22): 237-240.
- [15] Schuster M, Neumann C, Neumann K, et al. The effect of hospital size and surgical service on case cancellation in elective surgery: results from a prospective multicenter study[J]. Anesthesia and Analgesia, 2011(113):578-585.
- [16] Dexter F, Shi P, Epstein R H. Descriptive study of case scheduling and cancellations within 1 week of the day of surgery[J]. Anesthesia and Analgesia, 2012(115):1188-1195.
- [17] Epstein R H, Dexter F D. Rescheduling of previously cancelled surgical cases does not increase variability in operating room workload when cases are scheduled based on

- maximizing operating room efficiency[J]. Anesthesia and Analgesia, 2013(117):995-1002.
- [18] Tung A, Dexter F, Jakubczyk S, et al. The limited value of sequencing cases based on their probability of cancellation [J]. Anesthesia and Analgesia, 2010(111):749-756.
- [19] Jesse M E, Franklin D. Case cancellation rates measured by surgical service differ whether based on the number of cases or the number of minutes cancelled[J]. Anesthesia and Analgesia, 2013, 117(3):711-716.
- [20] Franklin D, Eric M, Epstein R H, et al. Validation of statistical methods to compare cancellation rates on the day of surgery[J]. Anesthesia and Analgesia, 2005(101):465-473.
- [21] Lee I. Artificial intelligence search methods for multi-machine two-stage scheduling with due date penalty, inventory, and machining costs[J]. Computers & Operations Research, 2001, 28(9):835-852.
- [22] 黄卓平, 鲁建夏, 李修琳. 基于延迟惩罚成本的生产物流瓶颈辨识研究[J]. 浙江工业大学学报, 2012, 40(5):570-573.
- Huang Z P, Lu J S, Li X L. Research on identification of production logistic bottleneck considering the delayed penalty cost[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2012, 40(5):570-573.
- [23] 程新峰, 包乐, 苏兵. 考虑惩罚成本的果蔬品配送中心选址研究[J]. 西安工业大学学报, 2014, 34(5):397-399.
- Cheng X F, Bao L, Su B. Research on site selection of fruit and vegetable products distribution centers with penalty cost[J]. Journal of Xi'an Technological University, 2014, 34(5):397-399.
- [24] Jung H. An available-to-promise model considering customer priority and variance of penalty costs[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010(49):369-377.

Operations Research and Cybernetics

Research on Mendacious Elective Surgical Case Information Considering the Surgeons' Performance

QIN Chunrong¹, LUO Yong², LUO Li², GONG Renrong³

(1. College Mobile Telecommunications, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Hechuan Chongqing 401520;

2. Business School, Sichuan University, Chengdu 610064;

3. West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China)

Abstract: We consider a problem in the process of elective surgery scheduling where different surgeons may tell mendacious information to the operating room scheduling center in order to operate more surgeries. We first establish a revenue function with penalty costs, and then analyze the interplay between different probability of new surgical arrivals and the mendacious surgical numbers affecting the revenue function. At last, we validate the effectiveness and correctness of the results through simulation. We find that penalty costs can effectively solve the problem of mendacious elective surgical case information. As long as penalty costs are reasonable, the surgeons will control the mendacious surgical numbers.

Key words: penalty costs; elective surgical case; mendacious case; scheduling

(责任编辑 黄颖)