

# 医疗运作管理：新兴研究热点及其进展<sup>①</sup>

杜少甫<sup>1</sup>，谢金贵<sup>1</sup>，刘作仪<sup>2</sup>

(1. 中国科学技术大学管理学院，合肥 230026; 2. 国家自然科学基金委员会管理科学部，北京 100085)

**摘要：**近几十年来，随着人们对健康问题关注度的日益提升，医疗保健服务得到了快速发展，随之而来的诸多有别于其他服务的运作问题吸引了众多学者浓厚的研究兴趣，并逐渐形成了一个新兴研究热点——医疗运作管理。医疗运作管理旨在运用运作管理的思想、方法和技术对医疗保健服务各个运作环节进行精细研究，为医疗保健服务的有效实施提供系统的科学指导。文章介绍了全球医疗服务业的发展形势以及医疗运作管理的研究进展，说明了该领域研究的有效性、必要性和迫切性；全面回顾了运筹管理顶级期刊和医疗运作领域的重要期刊，按照研究对象进行分类组织，详细介绍了医疗运作管理研究的关注热点，并结合当今最新的研究成果分析了潜在发展趋势。

**关键词：**医疗保健；运作管理；服务

**中图分类号：**C93      **文献标识码：**A      **文章编号：**1007-9807(2013)08-0001-19

## 0 引言

健康作为人类一直追逐的目标，与每个人息息相关。在当今时代和平与发展的总体趋势下，人们对于健康的要求也在逐步提升。为了满足国民日益增长的健康需求，各国在医疗卫生事业上的投入也在逐年上升。当前，中国政府也非常重视医疗卫生事业的发展，2012年中国卫生部发布的《健康中国2020战略研究报告》明确表示，到2015年我国医疗卫生投入占GDP比重将在目前5%的基础上提升0.5个百分点，到2020年将为6.5%~7.0%。

在政府大幅度增加医疗卫生投入的同时，提升卫生领域运作效率的问题也迫在眉睫。世界卫生组织总干事陈冯富珍博士在2012年的世界卫生组织报告中指出：据估计20%~40%的卫生费用由于效率低下被浪费了，有效的政策和运作管理可以显著提高有限资源的使用效能。运用运作管理的思想、方法和技术对医疗保健服务各个运

作环节进行精细研究，为医疗保健服务的有效实施提供系统的科学指导已成为当前医院管理，特别是医院智能管理的重要议题。通过文献分析发现（见图1），近几年运作管理研究对医药卫生领域的关注度明显上升，医药卫生问题在INFORMS、POMS和M&SOM的学术大会上被提及的次数也越来越多。Golden和Seidmann<sup>[1]</sup>认为：现行医疗卫生系统面临的问题，运作管理可以提供很好的帮助；伴随信息技术的发展，大量医疗卫生数据为运作管理研究提供了很好的支持；如今越来越多的医疗卫生决策者获得过MBA学位或者经历过管理培训，他们懂得运作管理的重要性。各类主流期刊均开设了医疗服务运作管理的相关特刊，一些跨领域的大型组织如IIE Transactions也于近年增设新刊物来关注此方面的研究，值得一提的是，管理运作领域顶级期刊OR和M&SOM分别于2008年和2012年均专辟特刊来探讨医疗卫生领域的运作管理问题（见表1）。

经过文献整理发现，近5年来仅发表在MS、

① 收稿日期：2013-03-05；修订日期：2013-06-12。

通讯作者：刘作仪（1968—），男，湖北通城人，博士，研究员。Email: liuzy@mail.nsf.gov.cn

OR 和 M&SOM 上的有关医疗服务运作的文章就超过了 40 篇,其关注热点也在发生着变化,在传统医疗卫生领域运作管理研究的基础上伴随着信息技术的发展,相关数据的收集分析能力大大提升,大量基于实际数据的实证分析和假设建模越来越多地运用到医疗运作管理的研究中,并且更加贴近实际.改革开放以来,中国医疗卫生领域发展迅速,相关的宏观政策体系也在不断完善,然而医疗运作管理方面的研究还相对较少,不过国内一些学者已开始表现出对该领域的研究兴趣,取得了一些较突出的研究成果,并呼吁更多国内学者对该领域的关注<sup>[2-5]</sup>.伴随着医疗卫生系统内支付政策的转变和信息化的发展方向所造成的系统结构的变化以及人们具体需求的不断发展,医疗运作管理研究的范围也大大地拓宽了,许多新的问题越来越多的呈现在人们面前.因此,本文将

从医院运作管理的主流研究对象——需求预测、选址与分配、能力规划、资源调度、病人预约调度、供应链与物流、疾病预防等方面出发,回顾近年来世界范围内的医疗服务运作研究.

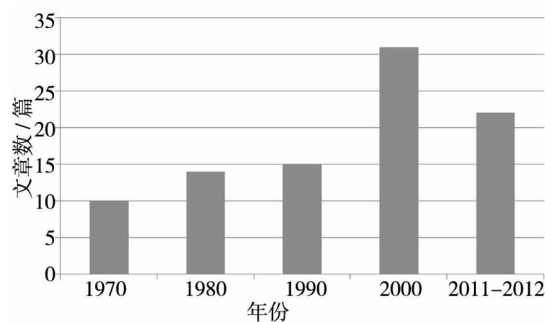


图1 MS 和 OR 上发表的医疗卫生领域文章

Fig. 1 Healthcare-related papers published in management science and operations research

注: 2011 - 2012 年数据中包括了 M&SOM 特刊中的文献.

表1 近年来国际主流学术期刊关于 OR in healthcare 的特刊

Table 1 Special issues of several mainstream journals on "OR in healthcare" in recent years

期刊名	特刊名
Manufacturing & Service Operations Management	Special Issue on Applications of Healthcare Operations Management (2012)
Operations Research	Operations Research in Health Care(2008)
Interfaces	Applications of Management Science and Operations Research Models and Methods to Problems in Health Care (2009)
European Journal of Operational Research	OR Applied to Health Services: Planning for the Future with Scarce Resources (2003) OR in Health (2008)
Journal of the OR Society	Meeting Health Challenges with OR(2005) Operational Research in Health(2007)
Health Care Management Science	Contemporary Health Care Applications in OR/MS(2004) Operational Research Applied to Health Services (2007)
Computers and Operations Research	Logistics of Health Care Management(2007)
Annals of Operations Research	Operations Research in Medicine-Computing and Optimization in Medicine and Life Sciences(2006)

注: 本表源自 Rais 和 Viana<sup>[2]</sup>.

## 1 需求预测

需求预测是医疗服务运作的基础.精准的预测结果会为后期的决策优化问题带来极大的便利.因此,研究者一直致力于寻找更加精确的方法来预测需求.但医疗服务需求受地区、人群影响较大,所以现有的需求预测研究更多地采用定量方

法在特定区域或机构展开.然而定量方法研究往往需要大量数据,使得研究难度上升,导致现有的需求预测研究数量相对较少.

与事物发展规律一致,需求预测方法也经历了由简单到复杂的过程.在过去很长一段时间内,研究者一般使用调整后的百分数值、月平均值、变化趋势线和季节变化线等 4 种简单的方法. Côté 和 Tucker<sup>[6]</sup>对比研究了这 4 种方法,找出了各种

方法的优势与劣势,极大地方便了后人对方法的选择。Myers 和 Green<sup>[7]</sup>则创立了两步预测法。他们通过与一份 2001 年完成的需求和能力预测相比较,发现这种方法能够在预测需求的同时将容量规划和医生需求纳入设施总体规划中,使管理者决策更加方便。Finarelli 和 Johnson<sup>[8]</sup>创立的则是九步预测法,该方法使得预测的准确性得到进一步提高。后来随着认识的不断深入,新的方法不断涌现,它们的适用性、准确性各不相同。Jones 等<sup>[9]</sup>利用 3 家医院的急诊统计数据评估了时间序列回归、平滑指数、季节性移动平均数、人工神经网络模型法等 4 种预测方法在医院急诊预测方面的准确性。

而在实际应用过程中,研究者会根据各自不同的情况对现有方法进行改进,以求最大程度地符合现实情况。Lavierni 和 Puterman<sup>[10]</sup>在考虑年龄动态和流失率的情况下,建立了线性分层模型,对加拿大大不列颠哥伦比亚省护理人员的最优培训数量进行了预测规划。Bowers 等<sup>[11]</sup>通过与员工的交流及对其他医院创新实践案例的分析,建立了高层次门诊规划模型,对一个诊疗中心的门诊量进行了估算。该模型还可以作为决策支持工具,帮助管理者探索医疗服务未来需求不确定性和不断变化的现实带来的影响。Mahar 等<sup>[12]</sup>的工作与之类似。他们在考虑财政因素和病人服务水平的基础上,建立了优化模型,对地区医院网络中需要的医院数量进行了预测,并且确定了每家医院提供服务的方向,以此来实现资源优化。Beech<sup>[13]</sup>更是在市场的基础上,对各地区各类型的人口、各医院利用率及市场规模和市场份额等数据进行综合,预测未来发展趋势。该研究不仅能够对未来需求进行预测,还可以帮助理财师评估经营策略和财务策略,甚至可以以此为依据制定一份战略性财务计划。

以上研究表明,需求预测方法的准确性有很大的提高,其应用也更加广泛,但上升空间仍然很大。准确性是人们对需求预测的不断追求,随着认识的加深及与应用不断结合,可以通过对现有方法进行改进或建立新的方法来进一步提高。并且对大范围、多机构的需求预测研究尚不成熟,可以在未来研究中多加关注。

## 2 选址与分配

医疗设施的定位直接影响到后期的资源分配等问题。错误的选址,过多或过少的设施投入都将导致医疗运作效率低下,即增加成本和降低病人服务质量,甚至增加疾病发生率和死亡率。Daskin 和 Dean<sup>[14]</sup>回顾了 3 种基本的设施选址模型(集合覆盖模型、最大覆盖模型、P-中位模型)及其在医疗选址领域内的应用,并指出以往医疗设施选址研究中的 3 个热点问题,即医疗服务的可达性、适应性和可得性。可达性是指病人或者客户到达医疗设施的能力或者医疗机构到达急诊病人的能力;适应性是在可达性的基础上考虑未来情景不确定性找出折中解法;可得性模型寻求不断变化的服务需求与服务供给之间短期平衡。而以往研究主要集中在医疗服务可达性问题上,包括医疗中心选址和救护车的选址与分配。

Smith 等<sup>[15]</sup>研究了发展中国家农村地区建设可持续的社区医疗中心的选址问题,考虑由下而上和由上而下两个不同等级的社区医疗中心层次定位规划,以提供有效和公平的医疗服务为目标,用混合整数规划的方法求解出最优可持续医疗设施数量和定位决策。Mitropoulos 等<sup>[16]</sup>则采用了双目标数学决策模型来解决医院和医疗中心的定位与分配问题。模型考虑了公众对医院和医疗中心的不同偏好和医疗系统的分散化两个因素,为实现医疗设施的可达性(最小化病人和设施之间的距离)以及使医疗设施在公民中公平分配两个目标提供了定位和分配决策参考。Harper 等<sup>[17]</sup>考虑到了服务选址中的地理因素和病人的特性对医疗服务的重要性。医疗服务的地理分布和组织主要包括:一个城市医院门诊部门的位置分布;不同区域内提供以医院为基础的专业医疗服务,如心脏和牙科。服务提供决策主要包括:服务中心的位置分布,服务能力,病人的地理分布,获取医疗服务的方便性。文章主要采用离散事件地理选址分配的仿真模型来评估服务提供的各种选择。此外,Current 等<sup>[18]</sup>考虑了未来不确定性情形下的医疗中心动态选址问题,利用以期望损失最小化和最大遗憾最小化为准则的决策模型寻找最优设施定位方案。Stummer 等<sup>[19]</sup>建立了多目标决策和支持

模型来研究给定医院网络中医务处的选址和大小问题。除了上述对某地区医疗服务中心选址分配的研究外,以往的文献还涉及到对某种专业医疗服务机构的选址和分配问题。Syam 和 Côté<sup>[20]</sup>研究了专业医疗服务(如创伤性脑损伤)的选址和分配问题。该文章用模拟退火算法求解在保证服务需求比例基础上的成本最小化模型,而模型的实用性受到服务分散程度、由与治疗单位之间的距离决定的病人保留、所调查地区病人地理密度 3 个因素的影响。数据实验表明,3 个影响因素之间是相互联系的,并且对制定服务选址决策是相当有效的。Zhang 等<sup>[21]</sup>研究了预防性医疗服务设施选址的问题,目的是最大化各地区居民的参与程度。该文章以病人到达、等待和接受服务的总时间为衡量医疗设施可达性的标准,采用 M/M/1 的排队模型刻画拥挤程度,并用数学规划和启发式算法求解最优决策,最后发现集中定位整个系统能力的方法比分散定位设施的方法更有效率。Côté 等<sup>[22]</sup>采用混合整数规划模型为退伍军人事务部中提供创伤性脑损伤医疗服务的单元提供定位方案。

以往医疗领域内选址和分配问题的研究集中在急救中心的选址和救护车的调度上。救护车的调度能力是影响病人对医疗服务可达性的重要因素。Goldberg 等<sup>[23]</sup>提出了一般空间分布内的排队系统服务时间近似模型,并在亚利桑那州图森市救护车的选址定位问题上应用和验证了该模型。Ball 和 Lin<sup>[24]</sup>指出急诊服务规划者必须解决两个战略层的问题,即应急服务站的定位和每个服务站的救护车数量。他们提出了一个可靠的模型来解决上述两个问题。他们对模型所做的改进是加入了随机性,并基于系统发生故障的概率约束得出 0-1 整数规划模型。McAleer 和 Naqvi<sup>[25]</sup>同样研究了城市救护站的选址问题。与前人研究不同,他们认为救护站的选址是个大规模的整数规划问题。如果选址筹划方案只有 1 个选择,问题将会变得更加严重,而将大问题分解为小问题将会有助于问题的解决。Adenso-Diaz 和 Rodriguez<sup>[26]</sup>指出前人对救护站选址问题的研究主要采用的是线性模型,他们则利用最大覆盖模型来设计急救系统以保证其服务覆盖面及成本最小化,并通过超启发式算法来降低模型的计算难度。最

终,文章采用紧急搜索算法帮助解决可西班牙莱昂的急救中心定位问题。Ingolfsson 等<sup>[27]</sup>研究了提供指定服务水平的救护车最小数量及其选址问题。该文章主要创新点在于以给定时间内到达求救点的比例为服务衡量标准,将反应时间分为随机延迟时间和随机到达时间,并考虑了时间随机性和救护车数量随机性,使得模型更加接近现实情况。

### 3 能力规划

医疗设施的定位问题解决后,接下来就是医疗资源的能力规划问题了。医疗领域的调度压力主要来源于医院资源与医疗服务需求之间的不匹配,基本上所有医疗项目都会受到提供服务所需要资源的限制,有效率的调度即是寻求服务需求与资源之间的平衡<sup>[28]</sup>。医院资源主要包括病床、人员、手术室、诊断设备等。能力规划是指在保证服务质量的情况下,确定医院最优资源水平,使其尽可能地满足病人对一项或多项服务组合的需求。本节将会回顾病床、人员、手术室、诊断设备 4 大资源在医院中的规划研究。

衡量医院能力最基本的尺度是医院病床的数量<sup>[29]</sup>。医院病床可分为两类:常规病床,即已排程的病床;急诊病床,即未排程的病床。对这两类病床的管理既要满足病人的需求,也要保持合理的使用率。过去有关医院病床规划的研究均是以提高医院病床使用率为目标,即提高病床使用的平均百分比。相关文献主要采用仿真、排队论以及优化模型来规划医院病床能力。Jun 等<sup>[30]</sup>回顾了仿真模型在应对病人错位、激增和拒绝所导致的病床短缺问题时的应用。由于病人负载和需求随时间变化明显,Kao 和 Tung<sup>[31]</sup>考察了病床在大型医疗服务系统各个部门之间的再分配,从而减少病人溢出人数。他们采用了排队论模型来刻画病人就诊的动态过程,得出优化病床分配的两阶段模型,即在服务基准线上分配病床以满足全年可预测需求,所剩病床则根据每月需求变动采用边际分析法进行分配以实现病人溢出人数最小化的目标。最后他们还采用仿真实验验证了模型的稳健性和结论的适用性。Dumas<sup>[32,33]</sup>考察了病床在不

同部门间分配和转移的问题,发现对医院病床能力的研究还集中在单个部门病床分配的问题上. Santibáñez 等<sup>[34]</sup>考虑在病人急剧增加、病床短缺的情形下,医院可以在不同部门间转移病人,解决医院床位分配的问题. Ridge 等<sup>[35]</sup>希望采用仿真模型来解决医院重症监护室内病床规划问题. 他们发现病床数量、病床平均使用率和由于病床紧缺而需要转移的病人数量之间存在非线性关系,并指出病床使用率和病人转移量之间存在权衡取舍. Romanin-Jacur 和 Facchin<sup>[36]</sup>、Green<sup>[37]</sup>分别采用排队论和仿真模型来探讨医院重症手术部门、小儿半重症监护病房和产科单位的病床规划问题.

人员 特别是护士是医院资源的重要组成部分. 高质量的医疗服务需要熟练的医务人员支撑. 医务人员编制和分配对医院病人周转量和病人等待时间有重要影响<sup>[30]</sup>. 医院面临满足病人需求和服务质量与成本压力之间的权衡取舍问题. 医院人员规划旨在寻找医院整体和各个部门的最优人力水平. 由于护士对临床治疗结果有重要的影响<sup>[38]</sup>,所以护理成本是医院预算的一大构成<sup>[29]</sup>. 以往对医院人力的研究主要集中在解决护士规模、护士排班、不同部门中的护士调度等问题上. Kao 和 Queyranne<sup>[39]</sup>考察了建立医院人力需求及预算决策支持系统中的各种因素,并根据所考虑因素的复杂程度建立了一系列模型来解决医院在常规时间、加班时间和特殊技术部门的人力预算问题. 在利用经验数据考察了各种模型的有效性后,文章指出利用单期需求预测模型得到的预算估计值非常接近于更加精确的模型所得到的预算估计值. Yankovic 和 Green<sup>[40]</sup>指出现有计算护士配置水平的方法并不完善,其中包括应用最广泛的护士病人比例法. 他们还提出用排队论模型为医院门诊部门计算最优护士配置水平以及时应对病人需求. 最后,文章还提出了更容易实施的一维启发式模型,并在纽约城市医院进行了可实施性检测. 结果表明排队论确实能为医院护士配置决策提供支持. Green 等<sup>[41]</sup>均对医院中的护士配置问题进行了研究. 近年来,对于跨部门护士调配问题的研究主要集中在急诊部门和手术室. 急诊部门总是面临员工配给不足的问题. 通过分析病人到达机制,Green 等<sup>[42]</sup>评估了急诊部门中排队论

模型在减少未得到治疗的病人人数方面的有效性. 数据分析结果表明,延迟 SIPP 排队模型确实能减少急诊部门中未得到治疗的病人人数.

外科手术是医院主要的利润来源<sup>[29]</sup>. 手术室的数量和利用率是保证医院盈利和病人服务水平的重要基础<sup>[30]</sup>. Weiss<sup>[43]</sup>采用排队系统来解决医院手术室利用效率低下的问题. 文章在考虑到手术室利用效率低下(即预估手术开始时间晚于手术室可利用时间所造成的手术室闲置成本和医师等待成本)情况下,同时来决策最优手术预定量和手术开始时间,最后用仿真模型验证了结论并指出模型在医院手术室利用中可以直接应用. Lovejoy 和 Li<sup>[44]</sup>考虑的是医院面临外科手术需求增加时应采用何种方式增加手术室能力的问题. 提高手术室能力的两种方式分别是建造新的手术室和增加手术室的工作时间. 文章在预约等待时间、预约手术开始时间和医院利润 3 个绩效标准之间进行权衡取舍,寻求医院扩大手术室能力的最优方式. Cardoen 等<sup>[45]</sup>则对近些年来运作研究在手术室规划和调度方面的应用做了全面的综述.

诊断设备 如磁共振成像设备是医院能力的重要构成要素. 这些诊断设备通常价格昂贵,所以对这些设备的运作目标是百分百的利用率<sup>[29]</sup>. Green 等<sup>[46]</sup>指出,医院的诊断设备通常为不同的病人群体服务,主要有:提前预约的门诊病人、需求具有随机性的住院病人以及需要立即治疗的急诊病人. 文章旨在设计门诊病人预约调度系统和建立病人准入的动态优先规则,并将病人诊断服务需求问题刻画为有限动态规划模型,寻找最优决策的特性. Patrick 和 Puterman<sup>[47]</sup>考察了医院中同时服务于高优先权的住院病人和低优先权的门诊病人的计算机断层扫描部门,试图采用优化模型找出最优预订策略,减少资源浪费. 仿真模型验证表明,采用该模型后,门诊病人的等待时间显著减少. Patrick 等<sup>[48]</sup>则提出了公共医疗服务中不同优先权病人调度问题的解决方法. 文章用马尔科夫决策模型刻画病人调度过程,并用近似动态规划求解相关线性规划问题,最终得出最优线性解的近似方程以及由此产生的政策分析. Day 等<sup>[49]</sup>考虑的是心脏诊断测试中心的调度决策问题,其调度决策影响到了资源利用及准备病床的可用

性. Gocgun 等<sup>[50]</sup>更是采用了数学规划模型来研究计算机断层扫描部门的病人调度决策问题.

## 4 资源调度

资源调度问题是指在一定资源限制条件下, 如何调度资源使得目标效用最大. 近几年, 医疗服务领域的资源调度研究内容更加丰富, 其研究热点主要集中在人员调度与手术室调度两个方面.

### 4.1 人员调度

医疗服务人员主要包括医生和护士. 护士排班问题一直是广大学者研究的热点, 研究相对较多, 相对而言医生排班问题的研究较少. 但近几年来, 随着人们认识与研究的不断加深, 医生排班问题也得到了较大的重视, 研究论文数量有所增加.

#### 4.1.1 护士排班问题

护士短缺是全球性问题<sup>[51]</sup>, 所以如何有效利用现有护士, 是医疗系统面临的重要问题. 护士的调度指在每个排班时间段内, 根据病人需求安排相应护理水平的护士人数. 排班时要尽量保证公平性, 并且要考虑到护士缺勤和合法假期的情况.

管理者通常会提前 4 到 6 周对医院未来病人数量进行预测, 并以此为依据计算护士的需求数量. 然后他们将每天的工作时间分为几个班次, 通常一班为 8 h 或 12 h<sup>[52]</sup>, 对具有不同护理技能的护士合理换班, 同时尽量满足各项约束条件及护士的个人偏好.

较早研究护士调度优化问题的是 Warner 和 Prawda<sup>[53]</sup>. 他们的文章有两个假设: 1) 管理者对医院内护士的数量及分类都是清楚的, 而且在整个排班期内保持不变; 2) 护士短缺所造成的费用损失是随护士人数增加(不超过上限)凸减的. 他们建立了混合整数二次规划模型来解决固定工作周期内的护士排班问题, 以求护士短缺造成的费用损失最少, 至于约束条件则仅考虑到每个班次对特定类型护士数量的要求. Warner<sup>[54]</sup>还提出要考虑工作时间弹性、轮班方式、放假等护士偏好的限制条件. 显然, 护士短缺最主要原因就是繁重的工作量和对排班方式的不满. 因此, 在排班时, 管理者不能将护士当成机器, 必须考虑各种人性化约束. Ozkarahan 和 Bailey<sup>[55]</sup>考虑到了医院要求和

护士偏好的不同优先级, 如“医院要求一个护士不能在一天内既上白班又上夜班”的优先级高于“每个护士每两周至少休一个周末”. 他们通过对具体单位具体护士优先级进行赋值, 以尽可能地减少医院要求和护士偏好之间的矛盾. Bard 和 Purnomo<sup>[56]</sup>提出了循环排班(cyclic scheduling)的方式. 和以往独立看待每个计划期并在每个计划期重新计划不同, 这种循环排班方式使每个护士轮流调班, 将夜班和周末班均衡地分配给每个护士, 保证公平性. 该方式还具有较强的稳定性, 在需求变动不大的情况下可以长期执行. 除此之外, 这样也有利于护士安排自己的工作和生活. Purnomo和 Bard<sup>[57]</sup>也在循环排班的方式下建立了以护士满意度最大化和医院人力开销最小化为目标的整数规划模型, 并利用分支定界法进行求解.

以上所有文章中的排班都是由护理部或护士长负责的, 而护士长制定排班计划是最常见的情况. 但是每个护士的偏好是有差异的, 传统的排班方式将护士看作一个整体, 以至于对于单个护士来说排班方式缺乏弹性. 因此有学者正在探讨由护士自主决定的自我排班方式(self-scheduling). De Grano 等<sup>[58]</sup>提出的是两阶段的排班方法. 第一阶段, 在保证医院需求的前提下, 护士通过“竞拍”方式得到她们想要的班次, 然后将剩下的班次按照最优化方法安排给没有达到最低工作小时数的护士. “竞拍”采用的是叫价价格密封拍卖方式(first price sealed-bid auction), 具体步骤为: 在一个排班周期开始前, 护士长确定好班次、每班次需要人数及要求, 并提前给每个护士定好相同的“分数”. 护士则根据自己的实际情况将分数分配给想要的班次(on)和不想要的班次(off)作为“筹码”. 然后护士长统计分数, 对于 on 的班次按照医院要求人数对竞标者采取分数从高到低安排, 对 off 则相反. 第二阶段, 所做的工作则是要满足尽量多的未中标者的要求. 在纽约一家医院急诊部(有 14 名护士)中的测试表明, 40%的护士在首次竞标既能满足需求, 第二阶段优化后有 90%的护士能满足需求.

Ronnberg 和 Larsson<sup>[59]</sup>针对瑞典护士的自我排班问题进行了探索性研究. 完全的自我排班方式是先让护士各自选择班次, 然后通过护士间协商确定最后的排班. 这种排班方式耗时长并且有

可能无法达成协议,所以作者希望提供一个数学模型,用于满足现实中的约束并使得护士自我排班能够自动完成。于是作者在传统最优化模型的基础上,增加单个护士对班次要求的约束。而护士的要求具有不同的优先级,因此该模型将强烈要求转换为模型的硬性约束条件,而将低级别的要求转为软约束。

护士调度的前提是医院对排班期内的护士需求做出准确估计。这就要将护士排班与需求预测部分相结合,对所需护士数量进行准确地预测,以保证后续工作有效进行。

#### 4.1.2 医生排班问题

医生排班问题类似于护士排班问题,两者的主要区别在于:在医生排班问题中医生的偏好具有更高的优先级,且约束条件通常多于护士排班问题。在单个门诊或小型医院内,医生数量较少,可通过自主协商决定排班方案;然而在医生数量众多的大型综合医院,管理者通常需要花费大量时间和精力来进行安排,所以OR领域的学者可以通过模型优化求解的方式来有效解决这一问题。

Beaulieu等<sup>[60]</sup>和Carter等<sup>[61]</sup>都利用多目标整数规划模型来规划急诊部门的医生排班问题。作者将一天分为3个8h的班次,并利用分解策略求解。作者将该模型应用于多家大型医院,使得医院管理者在不到1天的时间内便找到了满意的方案,而往常这需要1周甚至更长的时间。Brunner等<sup>[62]</sup>指出,传统排班政策均是将各个班次的开始时间及长度固定,最常见的为一天3个8h班或两个12h班。这种做法缺乏弹性,未考虑到医生对时间的偏好不同,及一个班次内存在高峰和非高峰的情况,而这种情况会导致工作负荷不平衡。所以作者开始考虑班次起始时间和长度可变动的方法:班次起始的时间可以在工作期内任意设定,每个班次长度最少为6h,最长为13h(中间1h休息)。无论全职医生还是兼职医生,都可以根据自己的偏好提出时间要求。作者建立了混合整数规划模型模拟了一个需求期(一周或几周)内的弹性排班问题,试图使得医生加班时间最小。在德国一家医院得到的数据显示,该模型能快速得出满意解。Brunner等<sup>[63]</sup>考虑了更长的排班周期,数值模拟显示可将排班期扩展至6周。此

后,Brunner等<sup>[64]</sup>又将这种弹性排班制度应用于有实习医生参与的长期排班问题中。从一家床位数量超过1千张的医院得到的数据证实,该模型可作为很好的决策工具。

本部分主要是对有关医护人员排班问题的重要文献作了介绍。广大学者对医护人员排班问题的研究成果得到了广泛应用,极大减少了医院管理者的工作时间,提高了排班质量,尤其在提高护士满意度方面。不断改进的排班方式越来越强调对医护人员的人性化管理。但是整体来说,对护士的排班安排远没有医生的排班灵活,比如每个班次固定为8h,在实际情况中,工作负荷在单个班次中是波动的,这样容易导致高峰段人手短缺但是低峰段人员空闲。也须注意到,在人员调度中对各种不确定因素的研究不是很多,但是这些不确定因素对排班问题具有重要影响,可在以后的研究中加以重视。

#### 4.2 手术室调度

手术室是医院的核心,在整个医院的收入和费用中均占40%以上。手术室调度指对病例、医生和手术室资源进行协调和安排,使得手术室得到充分利用。手术室调度主要涉及3方面:病例排序、手术室容量分配及相关资源调度。而调度的目标通常是医生和病人等待时间的最小化及手术室利用率和病例输出量的最大化。

##### 4.2.1 病例调度

病例调度是指:将等待手术的病人病例安排到开放期的手术室,并确定手术开始时间。需要考虑的因素较多,包括:1) 手术室数量——医院的手术室数量是确定的;2) 病例类型——不同疾病对应的手术时间不同,通常假设为对数正态分布。而对于急诊病人,则通常假设其服从某种随机分布;3) 病例是预约病人还是急诊病人——大部分文章对病例排程的研究是针对预约病人的,但是会通过预留空位等方法来安排急诊病人;4) 手术室正常开放时间——超过的时间就是医生加班时间。病人预约系统的很多研究可以用于手术室病例调度,手术室病例调度与门诊预约的最大区别在于,手术室病例调度对手术开始时间的准确性要求非常高。

Weiss<sup>[65]</sup>研究了在手术顺序已确定的情况下如何确定每台手术的开始时间。如果手术开始时

间过晚,手术室将会被闲置;如果手术开始时间过早,手术将不能如期进行,医生将会等待.该文作者通过研究发现,手术开始时间主要由手术室闲置费用和医生等待费用的比值决定. Denton 等<sup>[66]</sup>指出,除手术开始时间外,病例排序对手术室利用率和医生等待时间也有很大影响.基于手术时间的高度不确定性,他们建立了两阶段随机线性规划模型(先进行病例排序然后设定每个病例的起始时间).实际数据显示,该方法可以有效改进病例数量、手术室利用率等指标.并且各个指标权重不同,所得到的病例排序也会不同. Testi 等<sup>[67]</sup>则在调度期内进行3阶段分解分析:首先利用动态规划确定不同类型的手术数量,然后利用整数规划模型确定每个手术室安排手术的数量,最后对病例进行排序.

Gerchak 等<sup>[68]</sup>指出应对预约病例采取保守态度,要为急诊病例预留足够的空位,以确保急诊病例能得到及时处置.他们分析了在一天开始时,如何在现有基础上增加确定病例.在此研究基础上, Lamiri 等<sup>[69]</sup>将时间扩展到整个调度期内,这个时间可以长达1个月或6个月.他们利用随机最优化模型安排预约病例和急诊病例,使得病人等待费用最小,而手术室利用情况最优.

Gupta<sup>[70]</sup>还考虑了术前处置和术后护理的问题.文章综合分析3方面的问题:1)手术室使用时间如何规划;2)怎样接受(确认)病例;3)在各种约束条件下如何对病例排序.文章并没有给出具体解决方案,只是以此来呼吁更多的学者对病例调度问题进行研究.

#### 4.2.2 手术室资源调度

手术室资源调度是指:针对有限的手术室容量,在各种约束条件下(如外科医生偏好、病例优先级、病床限制等),如何做出决策以实现最优利用.

从长期讲(5年以上),医院首先要解决的是手术室容量问题.而前面的能力规划部分已经对此做了详细介绍.接下来,将在手术室数量已经确定的情况下讨论该问题.

有两种方式分配有限的手术室:模块管理(block-scheduling)和开放(非模块)管理(open-scheduling).模块管理是指在1个调度期内(1个月或半年、1年),管理者预先将每个手术室按时

间分块并分配给医生,医生则按照病例情况将其安排到自己的模块中.该方式通常决定于病例手术时间与模块时间的“吻合”.而在开放管理下,医生则是按照病例情况提出时间要求,管理者在总容量限制下接受或拒绝病例.对于接受的病例,管理者要在较短时间内安排手术室.这两种方式各有优劣,模块化对于医生来说是稳定的,而且医生可以根据个人偏好选择想要的模块,所以应用比较普遍;但是由于手术时间的不确定性以及急诊打断等因素影响,模块管理显得缺乏弹性,所以也有很多学者对开放管理或两种方式混合使用进行研究.

Denton 等<sup>[71]</sup>考虑了开放管理模式下的两个问题:单位时间开放的手术室数量和.手术室如何分配.由于手术室开放的固定费用是所有开销中最大的,所以在总费用最小的目标下认为医院并不需要开放所有手术室.文献[71]用动态最优化模型来刻画该问题,但同时指出,文章并没有考虑到病例的排序和起始时间,也忽略了医生的偏好,这正好是开放式管理的两个难题.而 Herring 和 Herrmann<sup>[72]</sup>对现有的模块式管理进行了改进.他们在划分时间模块并分配给医生的同时,会接受无时间模块医生的手术申请.在美国,这种病例申请(urgent)介于急诊和普通预约病例之间,病人往往会住在医院附近等待手术;并且考虑到会有医生取消时间模块(设定模块取消截止日期),在截止日期之后管理者可以将无时间模块医生的病例申请插入到有空缺时间段的手术室里.作者利用随机动态规划分析了一天之内单间手术室如何安排额外申请病例的问题,显然,对这种额外申请的病例的安排与医院分配的时间模块有极大关系.所以作者提出医院的模块管理需要重新思考. Day 等<sup>[73]</sup>进一步指出模块管理存在的极大问题是:医院分配时间模块时,医生会按照拥有病例的多少享有不同优先级,医院为“迎合”重要医生,往往会给这类医生专享的手术室和较长的模块时间;而对于病例少的医生则分配很少的时间模块甚至根本没有时间模块.对此,作者提出专享和共享并存的模块管理方法.管理者将手术时间划分模块(分为专享和共享)并分配给医生,每个医生分得的两种时间模块比例不同.这样,专享模块可以保证手术开始时间的可靠性,共享模块则提高



了手术开始时间的可预测性. 最后, 作者利用整数规划模型求解最优的模块划分方式和分配方式, 这样可以提高手术室利用率, 使得收益最大.

手术室紧缺除了受手术容量限制外, 另外一个重要的方面就是受病床和 ICU 容量的约束. 所以在有限的病床数量下, 如何提高病床利用率是管理者不得不面对的问题.

Chow 等<sup>[74]</sup>指出, 仅考虑手术室利用率而忽略了病床使用率是导致手术室拥堵的原因. 他们利用蒙特卡洛仿真技术对历史数据进行分析, 预测了给定的调度期内的床位需求量; 之后则利用混合整数规划模型, 对时间模块和病人数量进行调整以降低高峰病床使用率. Price 等<sup>[75]</sup>则发现在很多情况下, ICU 病床不足会导致病人不得不在麻醉恢复室过夜, 造成麻醉恢复室的拥堵, 且无法保证病人的护理水平. 为了平衡病床数, 他们用整数规划和计算机模拟对原有手术排程进行了调整, 取得了较好的成效.

Thompson 等<sup>[76]</sup>在不影响病例调度的情况下, 研究了住院病人在楼层间转移的问题. 他们提出, 设立备用楼层且非高峰期时在楼层间对病人进行合理转移, 可以升高急诊病人接受率, 减少等待时间. 作者利用有限马尔科夫决策过程研究了该问题, 并将研究结果应用于威利曼蒂克温德姆医院, 使得该医院的病人从接收至分配到指定楼层的平均时间下降了 50%. Mandelbaum 等<sup>[77]</sup>则从病床护理人员的公平性出发, 利用单队列非同质多服务台排队方法分析了从急诊室到病房的病人流路线问题. 为了量化病床护士的公平性, 作者采用了用病床占有率和流动率的平均值来刻画. 研究表明, 合理地将病人分配到不同的床位可以升高护理人员工作的公平性, 进而可以平衡工作负荷, 提高服务质量和效率.

手术室作为医院的核心资源, 引起了广大学者的关注. 与人员调度一样, 越来越多的学者在手术室调度上, 提出了动态的、富有弹性的手术室时间和病例调度方法以应对各种不确定性. 这里还介绍了对手术室相关资源如病床和 ICU 的协调问题. 在整个医疗系统中, 各部门间的协调合作是非常重要的, 然而相关的研究却相对较少, 有关学者在以后可以多加关注.

## 5 病人预约调度

与资源调度问题不同, 病人预约调度更侧重于预测与引导. 病人预约调度是指对病人预先提出的诊疗要求, 管理者按照预约规则指定病人到达时间, 使得病人等待时间或者医生空闲时间等目标最优. 而预约规则是指每个预约段内病人数量的限制及病人预约时间间隔的限制. 规则制定是基于对医院往年数据的总结、分析的, 并要考虑病人到达方式、服务时间长度及其他各种干扰因素的影响.

病人门诊预约系统是典型的排队论问题. 很早 Lindley<sup>[78]</sup>就运用 G/G/1 排队模型分析了病人等待时间. 他在研究中假定诊室单医生单队列的情形, 并设定病人到达间隔和服务时间服从任意分布. 研究结论指出: 在制定预约时间内到达, 病人的等待时间会大幅度减少. 作为先导, 该研究充分说明了病人预约的重要性. 此后, Vanden 和 Dietz<sup>[79]</sup>用目标规划模型分析了病人等待时间和医生加班时间最小的问题, 进一步考虑了病人差异的影响. Denton<sup>[80]</sup>则用两阶段动态线性规划模型来寻找最优预约时间间隔. 该研究证明了诊疗开始前段和后段病人预约时间间隔短、中间段病人预约时间间隔长的方法会大幅提高效率. 这一理论影响深远, 至今仍被广泛应用.

近年, 针对病人未到 (no-shows) 及急诊打断的研究正在兴起. 病人未到会导致系统空闲, 而急诊打断会增加病人的等待时间, 如何降低两者的影响是管理者不得不面对的问题. Green 和 Savin<sup>[81]</sup>用单服务台排队模型, 在病人可能未到并且重新排队 (rejoin) 的情况下进行建模, 得出队长的稳态分布. Hassin 和 Mendel<sup>[82]</sup>用  $S(n, p < 1) / M / 1$  的排队模型描述了单服务台问题. 他们以降低病人等待费用和医院运行费用之和为目标, 用序列二次规划方法求解病人最小等待时间间隔. 通过与  $S(np, 1.00) / M / 1$  模型比较, 研究者发现病人未到时, 病人等待费用和医院运行费用均会增加, 而且病人未到率越高, 等待费用越大. Liu 等<sup>[83]</sup>则用启发式算法设计了动态预约政策. 研究者假设病人取消预约和未到的概率会随预约提前期的增长而提高, 也就是说指定给病人服务的日

期和病人提出预约的日期相距越远,病人取消预约和未到的概率越大.实际数据模拟计算证实了该启发式动态政策优于当前流行的各项政策,其结果在病人需求较高的情况下尤其显著. Luo 等<sup>[84]</sup>在考虑病人未到情况之外,还考虑到现实中存在较高的急诊率.他们分别利用拉普拉斯变换法和积分因子法求解不同调度系统的最小费用,数值计算结果显示,忽略打断政策的系统平均费用最高,在急诊率不特别高的情况下,可以通过适当调整平均服务时间来抵消急诊的影响.以上文章都指出,传统的预约调度系统对病人变化缺乏适应性,因为传统调度在每天或每周工作开始前就要求确定病人数量和到达时间,所以研究者在此基础上提出了开放预约调度的概念.开放预约调度(open-access AS)指在每天早上接受随机数量的病人预约,这些病人的服务安排在当天或者推迟到第二天. Robinson 和 Chen<sup>[85]</sup>对两种政策进行比较后发现:开放预约政策在病人加权平均等待时间、医生空闲时间和加班时间这3个方面均明显优于传统政策. Laganga 和 Lawrence<sup>[86]</sup>则研究了超量预约(overbook)对病人未到情况的补偿作用.和传统观念中认为应该保守预订以保证急诊接待率不同,作者提出适当的超量预订可以平衡接待超量病人产生的加班费用和病人等待费用.

过往的研究一般采用的是单服务台假设.在国外,一般情况下病人都有选定的医生,所以该假设比较符合实际.但综合医院肯定会有多个医生,并且整个治疗过程可分为多个串列的步骤,譬如门诊病人有例行体检、医生诊断、化验及诊断后体检,手术病人有术前诊断、手术、术后处置等.因此很多文章也考虑了多服务台并列和多服务台串列的情况. Gul 等<sup>[87]</sup>模仿“多个工件在多个设备上加工的排序问题”,建立了类似模型来刻画病人在 OPC (outpatient procedure center) 中的调度问题.研究者还利用了双目标遗传算法来求解.实际数据计算结果证明,启发式算法能获得较好的解决方案. Liu 等<sup>[88]</sup>研究的是多个医生的排队系统,该系统中医生的到达时间和服务时间都是随机的.在研究过程中,作者还利用动态规划求解固定诊疗时间内最优的预约数量问题. Dobson 等<sup>[89]</sup>用有限等待区域3服务台串列排队模型来分析急

诊部不同优先级政策的影响.研究者发现较优的政策要对病人输入进行动态批量(batching)处理,在多医生的情况下还要考虑医生工作负荷的公平性. Ogalata 等<sup>[90]</sup>则利用多目标决策中的层次分析法来优化一周时间内的病人与工作人员调度政策.研究者将问题分为3个层次:1)选择一周的病人;2)将病人指派给医生;3)对一天内的病人排序.大型医院的实际数据检验显示,这种层次调度机制可以最大程度地选择病人,平衡医生工作负荷,并且可以使病人等待时间最短.层次分析法和分层序列法在解决多目标问题中具有定性和定量相结合的优势,在目标结构复杂且能区分重要性时比较实用,所以该研究结果将会更方便地应用到医院实际管理中去.

上面对有关病人预约的文献做了简单的介绍,毫无疑问,广大 OR 学者对预约系统的研究为预约系统的设计提供了坚实的理论基础.但在实际应用中,由于情况过度复杂,OR 模型并没有得到广泛应用.在考虑诸多因素的情况下,模型通常会变得极其复杂,所以如何快速得到近优解是以后的研究重点.另外随着互联网技术的发展,电子诊疗等新技术开始流行,预约系统也需要加以改进以适应新变化.

## 6 供应链与物流

供应链与物流一直是近几年的研究热点,在医疗服务运作领域同样不例外.良好的供应链与物流系统设计能够有效地平衡各方利益,降低成本,提高医疗服务效益.在研究方向上,近几年的研究主要涉及库存、运输、分配等;而在研究对象上,则主要涉及到了药品、血液与器官等.

药品作为重要的医疗资源,一直深受研究者关注. Chahed 等<sup>[91]</sup>在家庭护理背景下,研究了抗癌药物供应链的优化问题,并找出了几种可行的供应链模型. Niziolek 等<sup>[92]</sup>则通过比较4个不同程度的非中介模型,来探讨直接分销策略下送货频率与非中介程度对药品供应链带来的影响. Lee 等<sup>[93]</sup>将关注点放到了供应链绩效提升问题上.该研究利用从243家医院收集的数据建立了结构方程模型,来探讨供应链创新、协作、效率与质量管

理对绩效的影响. 最终结果显示, 供应链创新与绩效成正相关关系, 可以与供应链协作一起提高供应链效率. Zhao 等<sup>[94]</sup>通过模拟研究显示, FFS (fee-for-service) 合约形式能够提高供应链的整体效益, 降低制造商的成本, 并且还能降低库存上限, 限制投资性买入行为.

研究者的眼光并没有局限到疫苗、药品方面, 他们的研究是非常广泛的. Rivard-Royer 等<sup>[95]</sup>研究了美国医疗行业不同医疗用品的多个类型的集成供应链管理系统. 该研究在揭示混合方法下制造商和分销商的边际利益问题及制造商角色的重要性的同时, 揭示了重新设计存储区可以节省大量成本, 为后续研究提供了新的思路. 而 Fuloria 和 Zenios<sup>[96]</sup>考虑了医疗服务供应商与患者之间的支付问题. 他们通过建立动态的委托-代理模型抓住了双方的相互作用, 验证了新的支付系统能够显著提高患者寿命, 但这需要有关信息处理、病人特征及供应商喜好的准确信息.

上述均是针对整个供应链进行的宏观研究, 是从社会整体的角度出发的. 而从医院的角度出发, 优化医院相关的物流问题也是近期的研究热点. Villa 等<sup>[97]</sup>从以病人为中心的角度研究了医院物流问题. 该研究描述了3家意大利医院物流重新设计的实施和效果, 总结出了对医院有管理启示的经验教训, 并且为以后的研究提供了有用的材料. Augusto 和 Xie<sup>[98]</sup>讨论了两种人力资源(药房助理和医院内药品运送者)下的药品流通设计问题. 他们在研究中使用了混合整数线性规划模型, 建立了两步方案, 确定了最优调度. 最后, 他们还将该方案与模拟模型相结合, 重新设计了一家法国教学医院药品流通. Zhou 等<sup>[99]</sup>关注的则是医院的血小板订购问题, 分析了两种模式下定期审查库存的系统, 最终证明了最优策略的存在性和唯一性, 并找出了充分和必要条件. 他们还以此为基础, 设计了新的算法, 并进行了模拟实验. 结果显示最优成本受需求不确定性、订货周期、季节与加急订单的影响. Little 和 Coughlan<sup>[100]</sup>则将研究点定位到了医院的库存策略. 他们分析了交付频率与成本之间的关系, 在充分考虑空间和交付限制下, 提出了新的约束模型, 从而确定最优库存水平.

目前很多医院试图通过消毒业务外包来降低

费用, 但是这种做法却会使物流路径延长, 从而导致器械可获得性降低和费用升高. van de Klundert 等<sup>[101]</sup>针对无菌器械在消毒部门与手术室之间的流动优化进行了研究. 该研究试图通过改变物流管理原则、使用可视性信息和优化无菌材料的组成等, 重新设计物流路径, 以此来达到降低费用、提高材料可用性的目标.

总体而言, 针对医疗服务的供应链与物流研究在近期得到广泛关注, 取得了较大的成果. 但是研究还不够精细, 有较大的空间. 以药品为例, 通常药品可分为处方药与非处方药, 两者的供应链情况是不同的, 而研究者却少有关注. 所以在以后的研究中可以更多地拓宽研究视野, 使问题更加全面、系统和实用.

## 7 器官移植与疾病预防

据美国器官联合分配网统计, 2002年, 美国每14 min 增加1个等待器官移植的患者, 那年大约有6 000人因未能及时得到供移植的器官而在等待中死亡. 等待器官捐献的人在以每年11%的速度增长, 而器官捐献者的增长速度仅为每年1.6%, 每天有10余例患者因等不到可移植的器官而死亡. 疾病一旦发生, 人体平衡就会打破, 治疗成本一般远远高于预防成本, 有些疾病还会迅速恶化和危及生命. 对于多数传染性疾病和慢性病而言, 最有效的治疗就是预防. 运作管理为解决相关问题进行了大量研究.

### 7.1 器官移植

器官移植问题在运作领域主要关注于以肾脏和肝脏移植问题为代表的捐赠器官的分配问题, 近几年来该问题一直是各大运作领域主流期刊的热点话题, 以MS的部门主编Zenios为代表的一大批运作领域知名学者在该问题上进行了大量的研究并给出了一系列的改进方案.

器官分配的关键问题之一是在临床效率和公平之间的权衡. Zenios 等<sup>[102]</sup>建立的肾脏动态分配策略中将以下3方面作为目标: 质量改进寿命期望最大化; 患者与器官排异可能性最小化; 病人平均等待时间最小化. 作者用一组线性微分方程整合目标方程进行描述, 通过近似分析得出最优控

制的动态指导策略,并且结合30 000份移植案例构建了大型的仿真模型,仿真结果表明该动态分配策略比当时实行的美国器官分配政策(UNOS)在提升质量改进寿命期望和缩短平均等待时间方面有显著改善。

信息的不对称对器官分配有重大影响。Sandıkçı<sup>[103]</sup>等运用马尔科夫过程决策模型模拟病人决策,将由于病人隐私造成的信息不透明所带来的寿命损失期望定义为隐私的代价,呼吁建立更加信息透明化的器官分配系统。Su和Zenios<sup>[104]</sup>也研究了器官分配中信息不对称的影响,设计了连续随机分配模型在追求社会福利最大化的同时给出了患者在效率和质量间的权衡。

器官移植的另一个问题是在质量和时间之间的权衡。针对这一问题,Zenios<sup>[105]</sup>进行以下研究:肾脏移植必须满足血型匹配,对于捐赠者-接受者对,如果他们不满足血型匹配,这时对他们来说就有两种选择,直接交换和间接交换,其中直接交换的活体器官比间接交换的离体器官在质量上存在优势而后者在等待时间上存在优势。作者建立了双面的排队等待交换模型,通过布朗近似得出最优动态交换政策,根据信息设置一个双重校验器,当且仅当满足该校验器时进行直接交换否则选择间接交换。文章同时确定了保障该政策成功的原则。对于活体器官移植的最优时机选择问题,Alagoz等<sup>[106]</sup>也以最大化病人质量改进寿命期望为目标结合马尔科夫决策进程模型给出了决策支持。

器官移植问题中还存在患者选择。根据美国的移植案例数据显示,患者的选择可能带来巨大的效率损失,为此Su和Zenios<sup>[107]</sup>针对这一问题设计了次优的分区政策并且通过渐进相容条件来保证该政策不会被拒绝。数据分析显示相较于美国现行的分配政策该政策在尊重病患选择的同时大大降低了效率损失。针对患者选择问题,Ahn和Hornberger<sup>[108]</sup>研究了美国器官分配政策中忽视病人潜在需求差异的问题,针对病人的不同状况和要求建立一套决策模型,为病人谋求最大利益提供支持。Alagoz等<sup>[109]</sup>从病人角度出发,研究了离体器官接受与否问题,通过对病人状况进行模拟建立马尔科夫决策进程模型,为病人决策提供支持。

## 7.2 疾病预防

运作管理在疾病预防问题上主要关注于疫苗问题、流行病预测与防控以及相关物资应急调度问题。

疫苗问题专家Jacobson等<sup>[110]</sup>针对如何将一些新的疫苗纳入国家免疫规划问题进行了研究,运用整数规划的方法初步研究了儿童疾病疫苗的选择和采购问题。Jacobson等<sup>[111]</sup>通过对疫苗选择算法的逆向工程处理,评估了两种复合型疫苗在美国联邦合同下的价值,发现伴随着注射成本的增高,复合型疫苗具有更高的价值。针对两种五合一型复合疫苗DTPA-HBV-IPV和DTPA-HIB-IPV,Jacobson等<sup>[112]</sup>和Robbins等<sup>[113]</sup>分别从价值分析和定价策略两个角度出发进行了详细的比较分析并给出相应的策略支持。针对儿童疫苗的生产短缺问题,Jacobson等<sup>[114]</sup>运用随机库存模型分析了国家儿童疫苗的库存水平,并给出了保证预期疫苗覆盖率而需要的库存策略。针对美国儿童疫苗程序的日益复杂化,Hall等<sup>[115]</sup>将一般性规定疫苗选择问题(GVFSP)模型引入到儿童疫苗规划中,为儿童疫苗选择提供决策支持。由于消极的网络外部性的存在,使得疫苗的覆盖率一直难以达到社会最优水平,Mamani等<sup>[116]</sup>在寡头垄断的市场环境下,分析得出采用补贴政策可以诱使达到有效的社会覆盖水平,并且发现税收补贴联合政策也能达到此效果。

运作管理在疾病预防领域,除了疫苗问题的研究以外,针对流行性疾病的控制和预测问题,相关学者也进行了大量的研究。2010年INFORMS专项写作奖得主Kaplan在很早之前就关注这些问题。他针对男同性恋之间艾滋病感染和传播问题进行建模<sup>[117]</sup>,分析了各种风险性性行为的危险,并结合当时的数据信息进行了简单预测。Kaplan和Brookmeyer<sup>[118]</sup>依托对特定标记如感染后的CD4细胞计数的解读建立模型,通过单样本单时间点分析估算群体中HIV病毒的发生率。Kaplan和Brandeau<sup>[119]</sup>具体讨论了艾滋病的传播建模和预防项目的定量评估问题。对于传染性疾病的接触者追踪也是疾病预防的主要手段之一,Armbruster等<sup>[120]</sup>借助仿真模型,得出了特定人群特定疾病的最佳接触者追踪投资水平。

近些年来,随着大规模流行性疾病发生频率

的显著上升, 突发性疾病灾难和生物恐怖袭击的预防问题也日益迫切. 此时, 资源调度问题顺理成章的摆到了人们面前. Earnshaw 等<sup>[121]</sup> 针对艾滋病预防问题, 在兼顾效率和公平的前提下制定了线性规划模型为国家和地方决策者在实现资源的有效分配问题上提供决策支持. Sun 等<sup>[122]</sup> 发现由于药物分散储备在不同国家, 在突发大规模疫情面前, 每个国家从自身利益角度, 在药物分配问题上形成一种博弈, 作者运用两阶段多元里德-弗罗斯特模型模拟疫情的蔓延, 通过博弈分析发现在国家间存在 Nash 均衡, 并且在一定条件, 由于中心计划者如 WHO 的介入能够实现帕累托改进. Kaplan 等<sup>[123]</sup> 假设了美国某一大型城市遭遇了天花生物恐怖袭击, 通过对天花传播模型的分析发现, 大规模群体性疫苗接种能够在很大程度上减少损失. 针对公共卫生突发事件对医疗设施大规模的快捷高效需求, Adida 等<sup>[124]</sup> 就医院间为应对突发疾病灾难的联合存储问题进行了研究, 在非合作的框架下研究了各公司的库存博弈问题并证明了 Nash 解的存在, 并且对存在中心决策者时制定集中式的存储策略的和分散决策进行了比较.

通过文献分析发现, 在器官移植和疾病预防问题上, 运作管理的运用效果显著, 并且相关研究已经比较成熟, 应当思考如何在实际运用中切实地贯彻这些运作管理的方法和思想.

## 8 结束语

无论从政府的重视程度还是社会的发展趋势来看, 医疗卫生领域在未来很长一段时间的发展

无疑是势不可挡的. 伴随着医疗卫生问题的日益复杂和迫切, 运作管理的价值也会越来越凸显. 运作管理在资源调度、供应链优化、能力规划以及疾病防控等领域都有着天然的优势和作用. 通过文献回顾发现, 医疗卫生领域一直以来都是运作管理研究的关注热点并且有越来越热之势.

在传统问题上的研究日益深入的同时, 一些医疗运作管理新问题的兴起无疑又给这一领域注入了新的活力. 伴随着大数据时代的来临, 由于以信息技术为代表的新技术的加入, 传统的医疗体系发生了巨大的变化, 而这些变化也给予了运作管理很好的契机. 医疗系统支付政策由“按量付费”向“按效果付费”的转变也会对整体的契约机制产生重大影响. 医疗服务中的道德风险问题、医院管理机制和各方博弈问题、社区医院和大医院的配套设置问题、以及院方与委托代理的院属人员目标协调问题等等, 这些问题均可以作为很好的切入点予以研究. 从文献分析中可以发现, 各个文献的关注点往往都还只聚焦于各个局部性问题, 远远没有达到系统层面的运作管理优化设计.

另外, 未来的医疗运作管理研究应该更多的关注模型的实际应用. 由于信息技术的发展, 医疗管理的规范化, 使得医院运作的的数据能够得到系统的搜集. 基于实际数据的实证分析, 假设建模, 才能使得研究结果更易于指导实际应用. 始于实际, 用于实际, 应该是医疗运作管理研究的根本出发点. 只有得到广泛实际应用的模型方法, 才能称得上成功的运作研究成果. 伴随着各种跨学科跨领域的技术融合, 医疗运作管理必然会得到更好的发展和运用.

### 参考文献:

- [1] Golden B L, Seidmann A. Introduction to the special issue on applications of healthcare operations management [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2012, 14(4): 485-487.
- [2] Rais A, Viana A. Operations research in healthcare: A survey [J]. *International Transactions in Operational Research*, 2011, 18(1): 1-31.
- [3] Wang X, Debo L G, Scheller-Wolf A, et al. Design and analysis of diagnostic service centers [J]. *Management Science*, 2010, 56(11): 1873-1890.
- [4] 赵卫东, 李旗号, 盛昭瀚. 基于案例推理的决策问题求解研究 [J]. *管理科学学报*, 2000, 3(4): 29-36.  
Zhao Weidong, Li Qihao, Sheng Zhaohan. Decision problem solution based on case-based reasoning [J]. *Journal of Manage-*

- ment Sciences in China ,2000 ,3(4) : 29 – 36. ( in Chinese)
- [5]刘作仪. 2011 年我国管理科学青年学者取得的巨大成就[J]. 管理科学学报,2011 ,14(9) : 86 – 90.  
Liu Zuoyi. Achievements in management sciences of Chinese young scholars in 2011 [J]. Journal of Management Sciences in China ,2011 ,14(9) : 86 – 90. ( in Chinese)
- [6]Côté M J ,Tucker S L. Four methodologies to improve healthcare demand forecasting [J]. Healthcare Financial Management: Journal of the Healthcare Financial Management Association ,2001 ,55(5) : 54.
- [7]Myers C ,Green T. Forecasting demand and capacity requirements [J]. Healthcare Financial Management: Journal of the Healthcare Financial Management Association ,2004 ,58(8) : 34 – 37.
- [8]Finarelli Jr H J ,Johnson T. Effective demand forecasting in 9 steps [J]. Healthcare Financial Management: Journal of the Healthcare Financial Management Association ,2004 ,58(11) : 52 – 58.
- [9]Jones S S ,Thomas A ,Evans R S , et al. Forecasting daily patient volumes in the emergency department [J]. Academic Emergency Medicine ,2008 ,15(2) : 159 – 170.
- [10]Lavrier M S ,Puterman M L. Optimizing nursing human resource planning in British Columbia [J]. Health Care Management Science ,2009 ,12(2) : 119 – 128.
- [11]Bowers J ,Lyons B ,Mould G , et al. Modelling outpatient capacity for a diagnosis and treatment centre [J]. Health Care Management Science ,2005 ,8(3) : 205 – 211.
- [12]Mahar S ,Bretthauer K M ,Salzarulo P A. Locating specialized service capacity in a multi-hospital network [J]. European Journal of Operational Research ,2011 ,212(3) : 596 – 605.
- [13]Beech A J. Market-based demand forecasting promotes informed strategic financial planning [J]. Healthcare Financial Management: Journal of the Healthcare Financial Management Association ,2001 ,55(11) : 46 – 59.
- [14]Daskin M S ,Dean L K. Location of Health Care Facilities [M]//Brandeau M L ,Sainfort F ,Pierskalla W P ( Ed. ) . Operations Research and Health Care: A Handbook of Methods and Applications ,International Series in Operations Research & Management Science , Vol 70 ,New York: Springer-Verlag ,2005: 43 – 76.
- [15]Smith H K ,Harper P R ,Potts C N , et al. Planning sustainable community health schemes in rural areas of developing countries [J]. European Journal of Operational Research ,2009 ,193(3) : 768 – 777.
- [16]Mitropoulos P ,Mitropoulos I ,Giannikos I , et al. A biobjective model for the locational planning of hospitals and health centers [J]. Health Care Management Science ,2006 ,9(2) : 171 – 179.
- [17]Harper P R ,Shahani A K ,Gallagher J E , et al. Planning health services with explicit geographical considerations: A stochastic location-allocation approach [J]. Omega ,2005 ,33(2) : 141 – 152.
- [18]Current J ,Ratick S ,Revelle C. Dynamic facility location when the total number of facilities is uncertain: A decision analysis approach [J]. European Journal of Operational Research ,1998 ,110(3) : 597 – 609.
- [19]Stummer C ,Doerner K ,Focke A , et al. Determining location and size of medical departments in a hospital network: A multiobjective decision support approach [J]. Health Care Management Science ,2004 ,7(1) : 63 – 71.
- [20]Syam S S ,Côté M J. A location-allocation model for service providers with application to not-for-profit health care organizations [J]. Omega ,2010 ,38(3) : 157 – 166.
- [21]Zhang Y ,Berman O ,Verter V. Incorporating congestion in preventive healthcare facility network design [J]. European Journal of Operational Research ,2009 ,198(3) : 922 – 935.
- [22]Côté M J ,Syam S S ,Vogel W B , et al. A mixed integer programming model to locate traumatic brain injury treatment units in the department of veterans affairs: A case study [J]. Health Care Management Science ,2007 ,10(3) : 253 – 267.
- [23]Goldberg J ,Dietrich R ,Chen J M , et al. Validating and applying a model for locating emergency medical vehicles in Tucson [J]. European Journal of Operational Research ,1990 ,49(3) : 308 – 324.
- [24]Ball M O ,Lin F L. A reliability model applied to emergency service vehicle location [J]. Operations Research ,1993 ,41(1) : 18 – 36.
- [25]Mcaleer W E ,Naqvi I A. The relocation of ambulance stations: A successful case study [J]. European Journal of Operational Research ,1994 ,75(3) : 582 – 588.
- [26]Adenso-Diaz B ,Rodriguez F. A simple search heuristic for the MCLP: Application to the location of ambulance bases in a

- rural region[J]. *Omega*, 1997, 25(2): 181–187.
- [27] Ingolfsson A, Budge S, Erkut E. Optimal ambulance location with random delays and travel times[J]. *Health Care Management Science*, 2008, 11(3): 262–274.
- [28] Utley M, Worthington D. Capacity Planning[M]// Randolph H(Ed.), *Handbook of Healthcare System Scheduling*, New York: Springer-Verlag, 2012, 11–30.
- [29] Green L V. Capacity Planning and Management in Hospitals[M]// Brandeau M L, Sainfort F, Pierskalla W P(Ed.). *Operations Research and Health Care: A Handbook of Methods and Applications*, International Series in Operations Research & Management Science, Vol 70, New York: Springer-Verlag, 2005: 15–41.
- [30] Jun J B, Jacobson S H, Swisher J R. Application of discrete-event simulation in health care clinics: A survey[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 1999, 50(2): 109–123.
- [31] Kao E P C, Tung G G. Bed allocation in a public health care delivery system[J]. *Management Science*, 1981, 27(5): 507–520.
- [32] Dumas M B. Simulation modeling for hospital bed planning[J]. *Simulation*, 1984, 43(2): 69–78.
- [33] Dumas M B. Hospital bed utilization: An implemented simulation approach to adjusting and maintaining appropriate levels[J]. *Health Services Research*, 1985, 20(1): 43.
- [34] Santibáñez P, Bekiou G, Yip K. Fraser health uses mathematical programming to plan its inpatient hospital network[J]. *Interfaces*, 2009, 39(3): 196–208.
- [35] Ridge J C, Jones S K, Nielsen M S, et al. Capacity planning for intensive care units[J]. *European Journal of Operational Research*, 1998, 105(2): 346–355.
- [36] Romanin-Jacur G, Facchin P. Optimal planning of a pediatric semi-intensive care unit via simulation[J]. *European Journal of Research*, 1987, 29(2): 192–198.
- [37] Green L V. How many hospital beds? [J]. *Inquiry*, 2002, 39(4): 400–412.
- [38] Aiken L, Clarke S, Sloane D, et al. Hospital nurse staffing and patient mortality, nurse burnout, and job dissatisfaction[J]. *Jama—Journal of the American Medical Association*, 2002, 288(16): 1987–1993.
- [39] Kao E P C, Queyranne M. Budgeting costs of nursing in a hospital[J]. *Management Science*, 1985, 31(5): 608–621.
- [40] Yankovic N, Green L V. Identifying good nursing levels: A queuing approach[J]. *Operations Research*, 2011, 59(4): 942–955.
- [41] Green L V, Savin S, Savva N. "Nurse vendor Problem": Personnel Staffing in the Presence of Endogenous Absenteeism[R]. *The College of Information Sciences Technology*, The Pennsylvania State University, 2012.
- [42] Green L V, Soares J, Giglio J F, et al. Using queueing theory to increase the effectiveness of emergency department provider staffing[J]. *Academic Emergency Medicine*, 2006, 13(1): 61–68.
- [43] Weiss E N. Models for determining estimated start times and case orderings in hospital operating rooms[J]. *IIE Transactions*, 1990, 22(2): 143–150.
- [44] Lovejoy W S, Li Y. Hospital operating room capacity expansion[J]. *Management Science*, 2002, 48(11): 1369–1387.
- [45] Cardoen B, Demeulemeester E, Belien J. Operating room planning and scheduling: A literature review[J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 201(3): 921–932.
- [46] Green L V, Savin S, Wang B. Managing patient service in a diagnostic medical facility[J]. *Operations Research*, 2006, 54(1): 11–25.
- [47] Patrick J, Puterman M L. Improving resource utilization for diagnostic services through flexible inpatient scheduling: A method for improving resource utilization[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2007, 58(2): 235–245.
- [48] Patrick J, Puterman M L, Queyranne M. Dynamic multipriority patient scheduling for a diagnostic resource[J]. *Operations Research*, 2008, 56(6): 1507–1525.
- [49] Day R W, Dean M D, Garfinkel R, et al. Improving patient flow in a hospital through dynamic allocation of cardiac diagnostic testing time slots[J]. *Decision Support Systems*, 2010, 49(4): 463–473.
- [50] Gocgun Y, Bresnahan B, Ghatge A, et al. A Markov decision process approach to multi-category patient scheduling in a diagnostic facility[J]. *Artificial Intelligence in Medicine*, 2011, 53(2): 73–81.

- [51] Hassmiller S , Cozine M. Addressing the nurse shortage to improve the quality of patient care [J]. *Health Affairs* ,2006 ,25 ( 1) : 268 – 274.
- [52] Punnakitikashem P , Rosenberger J M , Behan D B. Stochastic programming for nurse assignment [J]. *Computational Optimization and Applications* ,2008 ,40( 3) : 321 – 349.
- [53] Warner D M , Prawda J. A mathematical programming model for scheduling nursing personnel in a hospital [J]. *Management Science* ,1972 ,19( 4-Part-1) : 411 – 422.
- [54] Warner D M. Scheduling nursing personnel according to nursing preference: A mathematical programming approach [J]. *Operations Research* ,1976 ,24( 5) : 842 – 856.
- [55] Ozkarahan I , Bailey J. Goal programming-model subsystem of a flexible nurse scheduling support system [J]. *IIE Transactions* ,1988 ,20( 3) : 306 – 316.
- [56] Bard J F , Purnomo H W. Cyclic preference scheduling of nurses using a Lagrangian-based heuristic [J]. *Journal of Scheduling* ,2007 ,10( 1) : 5 – 23.
- [57] Purnomo H W , Bard J F. Cyclic preference scheduling for nurses using branch and price [J]. *Naval Research Logistics* ,2007 ,54( 2) : 200 – 220.
- [58] De Grano M L , Medeiros D J , Eitel D. Accommodating individual preferences in nurse scheduling via auctions and optimization [J]. *Health Care Management Science* ,2009 ,12( 3) : 228 – 242.
- [59] Rönnberg E , Larsson T. Automating the self-scheduling process of nurses in Swedish healthcare: A pilot study [J]. *Health Care Management Science* ,2010 ,13( 1) : 35 – 53.
- [60] Beaulieu H , Ferland J A , Gendron B , et al. A mathematical programming approach for scheduling physicians in the emergency room [J]. *Health Care Management Science* ,2000 ,3( 3) : 193 – 200.
- [61] Carter M W , Lapierre S D. Scheduling emergency room physicians [J]. *Health Care Management Science* ,2001 ,4( 4) : 347 – 360.
- [62] Brunner J O , Bard J F , Kolisch R. Flexible shift scheduling of physicians [J]. *Health Care Management Science* ,2009 ,12( 3) : 285 – 305.
- [63] Brunner J , Bard J , Kolisch R. Midterm scheduling of physicians with flexible shifts using branch and price [J]. *IIE Transactions* ,2011 ,43( 2) : 84 – 109.
- [64] Brunner J , Edenharter G. Long term staff scheduling of physicians with different experience levels in hospitals using column generation [J]. *Health Care Management Science* ,2011 ,14( 2) : 189 – 202.
- [65] Weiss E. Models for determining estimated start times and case orderings in hospital operating-rooms [J]. *IIE Transactions* ,1990 ,22( 2) : 143 – 150.
- [66] Denton B , Viapiano J , Vogl A. Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty [J]. *Health Care Management Science* ,2007 ,10( 1) : 13 – 24.
- [67] Testi A , Tanfani E , Torre G. A three-phase approach for operating theatre schedules [J]. *Health Care Management Science* ,2007 ,10( 2) : 163 – 172.
- [68] Gerchak Y , Gupta D , Henig M. Reservation planning for elective surgery under uncertain demand for emergency surgery [J]. *Management Science* ,1996 ,42( 3) : 321 – 334.
- [69] Lamiri M , Xie X , Zhang S. Column generation approach to operating theater planning with elective and emergency patients [J]. *IIE Transactions* ,2008 ,40( 9) : 838 – 852.
- [70] Gupta D. Surgical suites' operations management [J]. *Production and Operations Management* ,2007 ,16( 6) : 689 – 700.
- [71] Denton B T , Miller A J , Balasubramanian H J. Optimal allocation of surgery blocks to operating rooms under uncertainty [J]. *Operations Research* ,2010 ,58( 4-Part-1) : 802 – 816.
- [72] Herring W L , Herrmann J W. A stochastic dynamic program for the single-day surgery scheduling problem [J]. *IIE Transactions On Healthcare Systems Engineering* ,2011 ,1( 4) : 213 – 225.
- [73] Day R , Garfinkel R , Thompson S. Integrated block sharing: A win-win strategy for hospitals and surgeons [J]. *Manufacturing & Service Operations Management* ,2012 ,14( 4) : 567 – 583.
- [74] Chow V S , Puterman M L , Salehirad N , et al. Reducing surgical ward congestion through improved surgical scheduling and



- uncapacitated simulation [J]. *Production and Operations Management*, 2011, 20(3): 418–430.
- [75] Price C, Golden B, Harrington M, et al. Reducing boarding in a post-anesthesia care unit [J]. *Production and Operations Management*, 2011, 20(3): 431–441.
- [76] Thompson S, Nunez M, Garfinkel R, et al. OR practice—efficient short-term allocation and reallocation of patients to floors of a hospital during demand surges [J]. *Operations Research*, 2009, 57(2): 261–273.
- [77] Mandelbaum A, Momčilović P, Tseytlin Y. On fair routing from emergency departments to hospital wards: QED queues with heterogeneous servers [J]. *Management Science*, 2012, 58(7): 1273–1291.
- [78] Lindley D. The theory of queues with a single server [J]. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 1952, 48(2): 277–289.
- [79] Vanden Bosch P, Dietz D. Minimizing expected waiting in a medical appointment system [J]. *IIE Transactions*, 2000, 32(9): 841–848.
- [80] Denton B G D. A sequential bounding approach for optimal appointment scheduling [J]. *IIE Transactions*, 2003, 35(11): 1003–1016.
- [81] Green L V, Savin S. Reducing delays for medical appointments: A queueing approach [J]. *Operations Research*, 2008, 56(6): 1526–1538.
- [82] Hassin R, Mendel S. Scheduling arrivals to queues: A single-server model with no-shows [J]. *Management Science*, 2008, 54(3): 565–572.
- [83] Liu N, Ziya S, Kulkarni V. Dynamic scheduling of outpatient appointments under patient no-shows and cancellations [J]. *M&S—Manufacturing & Service Operations Management*, 2010, 12(2): 347–364.
- [84] Luo J, Kulkarni V G, Ziya S. Appointment scheduling under patient no-shows and service interruptions [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2012, 14(4): 670–684.
- [85] Robinson L, Chen R. A comparison of traditional and open-access policies for appointment scheduling [J]. *M&S—Manufacturing & Service Operations Management*, 2010, 12(2): 330–346.
- [86] LaGanga L R, Lawrence S R. Appointment overbooking in health care clinics to improve patient service and clinic performance [J]. *Production and Operations Management*, 2012, 21(5): 874–888.
- [87] Gul S, Denton B, Fowler J, et al. Bi-criteria scheduling of surgical services for an outpatient procedure center [J]. *Production and Operations Management*, 2011, 20(3): 406–417.
- [88] Liu L, Xu L. Dynamic and static job allocation for multi-server systems [J]. *IIE Transactions*, 1998, 30(9): 845–854.
- [89] Dobson G, Lee H H, Sainathan A, et al. A queueing model to evaluate the impact of patient “Batching” on throughput and flow time in a medical teaching facility [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2012, 14(4): 584–599.
- [90] Ogulata S, Koyuncu M, Karakas E. Personnel and patient scheduling in the high demanded hospital services: A case study in the physiotherapy service [J]. *Journal of Medical Systems*, 2008, 32(3): 221–228.
- [91] Chahed S, Marcon E, Sahin E, et al. Exploring new operational research opportunities within the home care context: The chemotherapy at home [J]. *Health Care Management Science*, 2009, 12(2): 179–191.
- [92] Niziolek L, Chiam T C, Yih Y. A simulation-based study of distribution strategies for pharmaceutical supply chains [J]. *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 2012, 2(3): 181–189.
- [93] Lee S M, Lee D H, Schniederjans M J. Supply chain innovation and organizational performance in the healthcare industry [J]. *International Journal of Operations & Production Management*, 2011, 31(11): 1193–1214.
- [94] Zhao H, Xiong C, Gavrimeni S, et al. Fee-for-service contracts in pharmaceutical distribution supply chains: Design, analysis, and management [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2012, 14(4): 685–699.
- [95] Rivard-Royer H, Landry S, Beaulieu M. Hybrid stockless: A case study: Lessons for health-care supply chain integration [J]. *International Journal of Operations & Production Management*, 2002, 22(4): 412–424.
- [96] Fuloria P C, Zenios S A. Outcomes-adjusted reimbursement in a health-care delivery system [J]. *Management Science*, 2001, 47(6): 735–751.
- [97] Villa S, Barbieri M, Lega F. Restructuring patient flow logistics around patient care needs: Implications and practicalities from three critical cases [J]. *Health Care Management Science*, 2009, 12(2): 155–165.

- [98] Augusto V , Xie X. Redesigning pharmacy delivery processes of a health care complex [J]. *Health Care Management Science* , 2009 , 12( 2) : 166 – 178.
- [99] Zhou D , Leung L C , Pierskalla W P. Inventory management of platelets in hospitals: Optimal inventory policy for perishable products with regular and optional expedited replenishments [J]. *Manufacturing & Service Operations Management* , 2011 , 13( 4) : 420 – 438.
- [100] Little J , Coughlan B. Optimal inventory policy within hospital space constraints [J]. *Health Care Management Science* , 2008 , 11( 2) : 177 – 183.
- [101] van de Klundert J , Muls P , Schadd M. Optimizing sterilization logistics in hospitals [J]. *Health Care Management Science* , 2008 , 11( 1) : 23 – 33.
- [102] Zenios S A , Chertow G M , Wein L M. Dynamic allocation of kidneys to candidates on the transplant waiting list [J]. *Operations Research* , 2000 , 48( 4) : 549 – 569.
- [103] Sandıkçı B , Maillart L M , Schaefer A J , et al. Estimating the patient's price of privacy in liver transplantation [J]. *Operations Research* , 2008 , 56( 6) : 1393 – 1410.
- [104] Su X , Zenios S A. Recipient choice can address the efficiency-equity trade-off in kidney transplantation: A mechanism design model [J]. *Management Science* , 2006 , 52( 11) : 1647 – 1660.
- [105] Zenios S A. Optimal control of a paired-kidney exchange program [J]. *Management Science* , 2002 , 48( 3) : 328 – 342.
- [106] Alagoz O , Maillart L M , Schaefer A J , et al. The optimal timing of living-donor liver transplantation [J]. *Management Science* , 2004 , 50( 10) : 1420 – 1430.
- [107] Su X , Zenios S A. Patient choice in kidney allocation: A sequential stochastic assignment model [J]. *Operations Research* , 2005 , 53( 3) : 443 – 455.
- [108] Ahn J-H , Hornberger J C. Involving patients in the cadaveric kidney transplant allocation process: A decision-theoretic perspective [J]. *Management Science* , 1996 , 42( 5) : 629 – 641.
- [109] Alagoz O , Maillart L M , Schaefer A J , et al. Determining the acceptance of cadaveric livers using an implicit model of the waiting list [J]. *Operations Research* , 2007 , 55( 1) : 24 – 36.
- [110] Jacobson S H , Sewell E C , Deuson R , et al. An integer programming model for vaccine procurement and delivery for childhood immunization: A pilot study [J]. *Health Care Management Science* , 1999 , 2( 1) : 1 – 9.
- [111] Jacobson S H , Karnani T , Sewell E C. Analyzing the economic value of the hepatitis B—Haemophilus influenzae type B combination vaccine by reverse engineering a formulary selection algorithm [J]. *Vaccine* , 2003 , 21( 17/18) : 2169 – 2177.
- [112] Jacobson S H , Sewell E C , Karnani T. Engineering the economic value of two pediatric combination vaccines [J]. *Health Care Management Science* , 2005 , 8( 1) : 29 – 40.
- [113] Robbins M J , Jacobson S H , Sewell E C. Pricing strategies for combination pediatric vaccines and their impact on revenue: Pediarix<sup>®</sup> or Pentacel<sup>®</sup>? [J]. *Health Care Management Science* , 2010 , 13( 1) : 54 – 64.
- [114] Jacobson S H , Sewell E C , Proano R A , et al. Stockpile levels for pediatric vaccines: How much is enough? [J]. *Vaccine* , 2006 , 24( 17) : 3530 – 3537.
- [115] Hall S N , Jacobson S H , Sewell E C. An analysis of pediatric vaccine formulary selection problems [J]. *Operations Research* , 2008 , 56( 6) : 1348 – 1365.
- [116] Mamani H , Adida E , Dey D. Vaccine market coordination using subsidy [J]. *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering* , 2012 , 2( 1) : 78 – 96.
- [117] Kaplan E H. What are the risks of risky sex? Modeling the AIDS epidemic [J]. *Operations Research* , 1989 , 37( 2) : 198 – 209.
- [118] Kaplan E H , Brookmeyer R. Snapshot estimators of recent HIV incidence rates [J]. *Operations Research* , 1999 , 47( 1) : 29 – 37.
- [119] Kaplan E H , Brandeau M L. *Modeling the AIDS Epidemic: Planning , Policy and Prediction* [M]. New York: Raven Press , 1994.
- [120] Armbruster B , Brandeau M L. Contact tracing to control infectious disease: When enough is enough [J]. *Health Care*

Management Science ,2007 ,10( 4) : 341 – 355.

- [121] Earnshaw S R , Hicks K , Richter A , et al. A linear programming model for allocating HIV prevention funds with state agencies: A pilot study [J]. Health Care Management Science ,2007 ,10( 3) : 239 – 252.
- [122] Sun P , Yang L , de Véricourt F. Selfish drug allocation for containing an international influenza pandemic at the onset [J]. Operations Research ,2009 ,57( 6) : 1320 – 1332.
- [123] Kaplan E H , Craft D L , Wein L M. Emergency response to a smallpox attack: The case for mass vaccination [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences ,2002 ,99( 16) : 10935 – 10940.
- [124] Adida E , Delaurentis Po-C , Lawley M A. Hospital stockpiling for disaster planning [J]. IIE Transactions ,2011 ,43( 5) : 348 – 362.

## Progress and prospects in an emerging hot topic: Healthcare operations management

*DU Shao-fu*<sup>1</sup> , *XIE Jin-gui*<sup>1</sup> , *LIU Zuo-yi*<sup>2</sup>

1. School of management , University of Science and Technology of China , Hefei 230026 , China;
2. Department of Management Sciences , National Natural Science Foundation of China , Beijing 100085 , China

**Abstract:** In recent decades , healthcare service has been improved world widely since people have paid close attention to it. Healthcare operations management , which applies operations methods and techniques to solve health delivery problems , has played an important role in the development of healthcare service. This survey reviews most of significant research works on healthcare operations management. It investigates papers in OR/MS top journals ( Management Science , Operations Research , Manufacturing & Service Operations Management , etc. ) or papers with great contribution in each specified category , and provided potential research prospects directions in the future.

**Key words:** healthcare delivery; operations management; service