



数据驱动的大型医院 门诊系统服务效率与患者流研究

张润彤^{1,3}, 赵红梅¹, 许媛¹, 张雄¹, 王超², 尚小溥^{1,3}

1 北京交通大学 经济管理学院, 北京 100044

2 北京工业大学 经济与管理学院, 北京 100124

3 北京交通大学 北京物流信息化研究基地, 北京 100044

摘要:关于医院管理的相关研究大多集中在住院系统的资源优化和配置,或是具有预约模式的门诊医疗服务资源优化配置。对于不需要预约的门诊服务系统研究较少,尤其是关于这类门诊服务中隐藏的运行规律方面的研究。

在重负载的医院门诊场景下,使用探索性数据分析方法,在数据分析过程中使用回归拟合和关联关系分析等方法。采用医院信息系统中记录的患者在接受门诊服务过程中产生的真实时间戳数据,分析并挖掘医生服务效率与患者流之间的关系,得到服务效率-患者等待队列长度-等待时间三者之间的关系。在此基础上,提出一种具有普适性的描述具有多服务阶段的门诊患者流模型,为医院门诊管理者提供洞察患者流规律的方法。

研究结果表明,医生的服务效率随患者等待队列长度的增加而增加,并在到达一定程度后下降,呈倒U形关系;随着患者等待队列长度的增加,患者等待时间呈阶梯形的增长曲线。服务效率与患者流之间存在潜在的关联关系,这一关系可以被用于调整整个门诊系统中不同阶段的服务效率和患者流。

研究结果启示医院管理者需要从系统化的高度实现对具有多服务阶段的门诊系统进行运营管理,对于提升医院门诊的服务效率、缓解医疗服务资源供需紧张的状况具有重要作用。

关键词:服务效率;患者流;数据驱动;队列长度;等待时间

中图分类号:R197.32 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1672-0334.2019.06.006

文章编号:1672-0334(2019)06-0072-14

收稿日期:2017-09-24 **修返日期:**2018-07-03

基金项目:国家自然科学基金(61702033,71532002);教育部人文社会科学基金(17YJC870015);北京市社会科学基金(19JDGLB022)

作者简介:张润彤,管理学博士,北京交通大学经济管理学院和北京物流信息化研究基地教授,研究方向为医疗信息化、资源优化和现代管理理论与方法等,代表性学术成果为“Design theory, modelling and the application for the internet of things service”,发表在2016年第3期《Enterprise Information Systems》,E-mail:rtzhang@bjtu.edu.cn

赵红梅,北京交通大学经济管理学院博士研究生,研究方向为医院运营管理和医疗数据分析与决策等,代表性学术成果为“影响临床路径完成率因素分析与对策建议”,发表在2015年第5期《中国医院管理》,E-mail:zhaohongmei81@163.com

许媛,北京交通大学经济管理学院硕士研究生,研究方向为医疗数据分析、医院运营管理和模糊决策等,E-mail:17120627@bjtu.edu.cn

张雄,工学博士,北京交通大学经济管理学院讲师,研究方向为信息安全、数据挖掘和医疗信息化等,代表性学术成果为“The classification of hackers by knowledge exchange behaviors”,发表在2015年第6期《Information Systems Frontiers》,E-mail:xiongzhang@bjtu.edu.cn

王超,管理学博士,北京工业大学经济与管理学院副教授,研究方向为启发式算法与仿真模拟等,代表性学术成果为“A parallel simulated annealing method for the vehicle routing problem with simultaneous pickup-delivery and time windows”,发表在2015年第83卷《Computers & Industrial Engineering》,E-mail:cwang@bjtu.edu.cn

尚小溥,管理学博士,北京交通大学经济管理学院和北京物流信息化研究基地副教授,研究方向为数据驱动的医疗与健康决策、科技与社会等,代表性学术成果为“A knowledge-constrained access control model for protecting patient privacy in hospital information systems”,发表在2018年第3期《IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics》,E-mail:sxp@bjtu.edu.cn

引言

中国大型医院担负着较为沉重的医疗服务任务,医疗资源较为紧张^[1]。与欧美等发达地区相比,中国医疗资源紧张具体体现在医疗服务资源紧缺和医疗资源分配不均两个方面。从医疗服务资源角度看,中国排名第一的医院为北京协和医院^[2],与美国排名前三位的梅奥诊所、克里夫诊所和麻省总医院的运营规模相比,门诊量远远超过这些医院,但员工数量却远少于这些医院。从资源分配角度看,尽管发达国家医疗资源也相对有限,但由于具备相对完善的分级诊疗制度,优质医疗资源基本能够比较均匀地分布在不同规模的医院,而门诊患者多是采取家庭医生首诊、预约转诊等策略;中国的优质医疗资源往往集中在大型医院,患者为了得到更好的医疗服务,偏好选择此类医院^[3],加剧了医疗资源分配不均的现象。如何解决现阶段中国医疗资源紧缺和分配不均是当前医疗卫生体制改革中极为重要的议题^[4],本研究主要对大型医院如何提供更有效的门诊医疗服务能力展开研究。

大型医院的门诊系统一般存在预约服务和随到随服务两类就诊模式。采取预约诊疗模式的医院,能够有效控制进入医疗系统的患者数量^[5],但弊端是门诊预约周期较长并存在爽约情况^[6],并未从根本上提高医院服务能力。中国大部分医院门诊需要现场挂号,即随到随服务,这种模式具有一定的不确定性,医院大多实施经验式管理,难以进一步精准提升服务能力^[7]。

在上述背景下,本研究基于数据驱动的思想,将多阶段门诊流程视为一个系统,利用医院信息系统中存储的患者门诊就诊全过程时间戳数据,通过探索性数据分析方法,挖掘大型医院门诊系统的运行状况和规律,研究在医患比例较低的重负载门诊系统中,医生服务效率与患者流的关系。该研究成果能够用于优化医院的运营管理和决策,辅助实现大型医院门诊的精准管理,提升服务能力。

1 相关研究评述

医院运营管理的相关问题一直以来是研究人员高度关注的话题,医院服务与患者流的关系可以分布在医院的各个部门和各个阶段。如门诊患者就诊的不确定性问题^[8]、检查预约问题^[9]、住院部门的床位优化问题^[10]、日间手术排程问题^[11]、术间的分配问题^[12]、急诊部门相关的管理和优化问题^[13]等。这些研究主题中,患者就诊和检查的预约优化与管理问题中的一些研究成果适用于医院的特定部门^[14];住院床位的优化和管理、手术排程问题、医院运营管理流程的建模和仿真大多是针对住院部门的研究;医院员工的排班问题、急诊相关问题、医院信息系统相关的管理实证研究中,既有针对门诊系统,也有针对住院系统的研究^[15]。从研究方法角度,大致可分为基于运筹学和最优化的研究、基于仿真建模的研究、基于管理实证的研究等。已有研究从研究方法

和研究问题角度,对相关工作进行更为细致的划分和分类。本研究主要对服务效率和患者流的相关研究问题进行评述。

1.1 面向患者流

BEN-TOVIM et al.^[16]从仿真角度研究医院患者流的情况,对医院流程仿真的关键问题的探讨集中在患者到达和患者离开的整个患者流的过程;YANKOVIC et al.^[17]从床位资源和护士资源的角度提出一种排队模型,目的是辨别当前的床位资源数量或者护士的数量是否与当前的患者流匹配,帮助寻找瓶颈阶段。该研究针对的是住院环境下,研究结果可以推广到急诊病房。ZACHARIAS et al.^[18]基于美国医院的预约门诊制度,通过综合考虑人口基数和每天的预约间隙来提高门诊的就诊效率,认为采取就诊当日预约的策略一定程度上能够提高医院门诊服务的效率。类似研究中的就诊当日预约与中国的随到随服务的门诊策略并不一样,实际上是人为缩短了允许的提前预约时间。SHI et al.^[19]以新加坡的医院为例,对急诊-住院患者流进行建模仿真,提出双时间维度模型描述住院患者的停留时间,并分别针对这两个时间维度进行基于数据分析的仿真工作;ARMONY et al.^[20]所做的工作与此类似;ROHLER et al.^[21]从微观层面针对门诊患者的等待时间等问题进行仿真和优化研究,关注患者个体而非患者流。该类研究适用于患者数量相对较少的情况,如私人诊所。需要注意的是,患者流并非孤立存在,以患者流为核心的相关研究实际上是对医院服务效率和服务效果的研究,与服务系统的构成和服务策略等密切相关。

1.2 排队论与排队网络角度的服务系统

在医院服务系统方面,QU et al.^[22]基于整数规划的方法,提出两阶段的预约模型。由于医院患者流实际上是医院这一服务系统中等待或正在接受服务的患者的动态变化,因此许多学者从排队论的角度进行研究,有研究通过数据分析发现或者假设医院患者到达的情况符合泊松分布。基于此,BARON et al.^[23]为确保顾客在具有多个服务阶段的排队网络中任一阶段不会等待时间过长,提出调整服务资源,从而调节各个阶段的服务时间,确保顾客在具有多服务阶段的排队网络中保持较高满意度的排队系统,并认为可以应用于医院急诊和门诊等部门。但中国大型医院门诊中的排队阶段包括挂号缴费、医生检查等,其中很多阶段的员工并不能实现调配。JIANG et al.^[24]基于开放队列网络进行改进,将门诊患者进行分类,允许患者同时进行多项检查等,实现一些门诊流程阶段的并行运行,提出多类别的开放队列网络。该研究中一段时间内病人到达数量较小,若是对于一天内到达数量较多的大型医院,分诊和并行检查工作需要耗费大量的人力,而且难以预计能否在复杂的医院流程中提高就诊效率。与此同时,一些实证研究结果证明患者到达医院的分布并不服从泊松分布,或者在一天的运营时间内并不存在稳态

的情况^[25],因此传统的排队理论无法经过简单的改进应用于医院这个复杂的环境中。一些研究认为排队系统的状态是随时间变化的,包括患者到达的情况^[26]。在这一背景下,有研究考虑到患者到达时间的分布呈现与时间相关的周期性,但假设患者的服务时间是具有理想分布的均值^[27],并据此提出相关的排队模型^[28]。SHI et al.^[19]对于医院患者流呈现出特点进行分析,认为服务时间具有非独立和理想分布的特点。基于这一特点,DAI et al.^[29]从排队论角度提出适用于医院住院患者流的队列模型Mperi/Geo2timescale/N,即患者的到达服从具有周期性的泊松分布,服务时间(住院时间)分为日和小时两个模块,医院不同科室的不同病房是N个平行的服务台。然而,对于中国的大型医院,本研究在探索性数据分析的过程中发现患者流呈现出重负载和与时间相关的特征,门诊流程中的任何一个单一阶段都难以在有限的单位工作时间(一个工作日)内达到稳态,因而采用上述方法进行研究的假设难以成立。

1.3 患者流与服务效率关系

一些研究发现,医院系统中医生的服务时间和服务效率与系统状态相关^[30],这里的系统状态一般是指系统中排队的患者数量和拥挤程度等^[31]。该类研究中,一般对该现象的解释是:在排队患者较长或处于服务状态患者数量较多时,无形中增加工作人员的工作压力,从而起到提高服务效率的作用,但若服务强度超过一定程度,医护人员的服务效率可能呈现下降趋势,即倒U形^[32]或是呈现出N形波动^[33]。但上述发现均是基于对住院系统进行的研究,医生的服务效率以患者住院时长进行测量。此外,用于测量医生工作压力的指标是医院的床位占用比例。而在门诊系统中,医生的工作压力和服务效率具有更强的实时性,属于一段时间内唯一专注的工作,这一场景与住院系统存在差别。

1.4 患者流与服务效率研究中的仿真方法

仿真是研究患者流和服务效率等医院服务系统常用的研究方法,根据医院的运行过程模拟患者流的变化情况,寻找当前医院运营管理中可能存在的问题并测试可能的解决方案^[34]。医院运营管理流程的仿真大致可以分为基于离散事件的仿真、基于系统动力学的仿真、基于ABS的仿真,一些研究同时还利用既有的软件平台进行仿真^[35]。但该类研究大多是从微观层面进行仿真模拟,且是针对诊所或采取预约机制的门诊进行的研究。该类研究中门诊就诊流程和患者到达情况一般较为明确,其中的不确定性主要在于患者到达时间的不确定,因此门诊系统运行状态的测量以及相关参数比较容易从历史数据中分析获得。而且,这些研究中日门诊量从仅几人到几百人不等,与大型医院的每日近万人的门诊量以及患者流涉及的诸多不确定性相比,更容易处理、分析和发现规律。更重要的是,采取仿真的研究方法,一般需要事先假设患者流输入或是服务效率等相关参数,而这些参数信息在重负载门诊系统中并

不容易确定。

1.5 相关研究的适用性分析

依据已有研究,在方法论层面,尚未有国外学者针对超大型医院非预约门诊进行患者流和服务效率方面的研究,仅有的少量中国学者的研究也只是停留在数据统计和初级的数据分析^[36],或者是门诊的某一个服务阶段^[37],如挂号服务阶段^[38]、药房取药阶段^[39]、检查服务阶段^[40]等,且研究中往往也假设患者的到达服从泊松分布,患者到达分布的假设是采用排队论和仿真方法研究的重要前提。但本研究通过数据分析发现,此类重负载系统在运行过程中并不能在有限的服务周期(如1天)内达到稳态。尽管当前一些研究普遍假设患者的到达服从泊松分布,但这类研究既无法通过人工统计的方式,也无法通过医院信息系统的时间戳数据证明患者到达的确服从特定分布。因此,传统的排队论等方法难以客观描述重负载的门诊服务系统。由于仿真模拟的方法难以给定患者到达和服务效率等参数,也难以直接使用。

在应用场景层面,一些研究主要集中在住院和预约门诊的服务场景下,虽然在特定的应用场景下解决了基于患者流的医院管理等相关问题,但对于患者流量大、门诊流程较多、患者到访具有不确定性、医生和员工的服务效率呈现波动性的场景来说并不适用,一些针对基于预约制度的门诊检查的相关研究无法直接应用于该问题中。更重要的是,尽管有研究对医院住院系统的服务效率与患者流量之间的关系做出了贡献,但门诊流程中,大多数患者在短时间(基本为1天)内完成全部就医过程,各个阶段之间的衔接非常紧密,不同阶段的服务效率或者服务策略直接影响下一阶段的服务情况,而当前针对门诊系统的研究多集中在门诊服务的某些阶段进行局部优化,把这些阶段分割开来进行的研究虽然对局部阶段的服务效率有提升和优化作用,但很难证明对整个门诊流程的服务效率改善是有效的。

为解决上述问题,本研究采取探索性数据分析方法,研究重负载门诊系统服务效率与患者流之间的关系。

2 场景和问题

大型医院存在需求与医疗服务供给紧张的矛盾,属于重负载服务系统。尽管很多医院在尝试采用各种方法提高服务能力和服务效率,但这些管理和运营策略之间的相互关系如何、哪些手段直接促进了服务效率的提升等往往难以判断。医院门诊部是一个由多个子系统构成的较为复杂的系统,患者在门诊不同阶段之间流动,是由若干服务子系统有机组成的服务网络,不同阶段的服务效率都有可能影响到其他阶段乃至整个系统的服务效率和服务能力。在大型医院门诊运营管理中,如何对重负载门诊系统的服务能力进行优化,需要从整个系统的角度进行研究。

为解决医院门诊运营管理中面临的实际问题,①本研究从系统角度出发,将由各个阶段构成的医院门诊流程视为一个服务网络,每个阶段是网络中的子服务系统,通过采集和分析医院信息系统中的大量患者流数据,针对随到随服务的重负载门诊系统探讨服务效率与患者流的关系;②根据医院门诊系统的时间戳数据,采取探索性数据分析的思路,对医院门诊的主要服务阶段进行患者流特征和服务效率的建模,对医生服务效率-患者候诊队列长度-患者等待时间进行探究,避免了对患者到达特征的假设;③建立系统内部流程之间患者流的关联关系,实现整体系统的优化,而非单纯针对某些阶段的局部优化,探讨大型医院门诊的运行特点和规律,并进一步提出如何通过多服务阶段的协同提高医生服务效率的方法。

本研究数据来源于2016年1月至2016年12月北京某大型三甲医院的300余万条门诊患者接受门诊服务的时间戳数据,包括几十万条的冗余数据和缺项数据等。所有数据在使用之前均已进行去隐私化和脱敏工作,患者ID和医生ID均进行加密,加密的ID仍然可以实现对患者和医生的识别和区分。数据集包括患者ID、医生ID、科室ID、患者挂号时间(此操作默认包括挂号缴费)、护士台分诊时间、医生扫码时间、患者接受门诊服务的结束时间、缴费时间、检查和化验时间、取药时间等。

在研究中做如下场景界定:

场景界定1:医院门诊系统中,普通门诊与急诊和发热门诊在服务流程和管理等方面都有区别。篇幅所限,本研究仅考虑普通门诊场景。

场景界定2:在实际接受门诊服务中,患者拿到检查报告后可能直接返回医生诊室进行问诊。由于此类时间数据并不在系统中记录,因此本研究不考虑该情形。

场景界定3:由于不同医院对于周末和节假日是否开展门诊医疗服务制度不同,本研究仅针对工作日医院的运营情况进行分析和研究。

3 门诊服务的特征分析

3.1 服务阶段与患者流

对于随到随服务的门诊服务方式,患者在工作时间内到医院挂号,一般情况下当天即可完成治疗,患者流在门诊服务的不同阶段汇聚和分流。在门诊服务系统里,唯一的队列容量限制在于挂号数量的限制,即进入门诊服务系统的患者数量限制。一旦

达到该限制,新的患者将无法再加入等候队列。而系统内其他阶段一般不存在队列容量问题,即系统内部各阶段队列的容量可以认为无限。

患者接受门诊服务的流程总体上可以分为挂号(全部患者)、分诊/候诊(全部患者)、就诊(部分患者)、缴费(部分患者)、检查(部分患者)、取药(部分患者)6个主要阶段。在某些阶段,存在部分患者完成治疗或因其他原因离开门诊服务系统,一旦患者离开,意味着该患者完成了一次门诊服务。在上述门诊服务流程中,患者从当前阶段进入下一服务阶段需要通过排队的方式接受服务。这些患者队列主要包括挂号队列、候诊队列、缴费队列(检查费或药费)、候检队列。

患者接受门诊服务的相关流程可以表示为

$$sp_{i,j} = d_1 S_1 \rightarrow d_2 S_2 \rightarrow \dots \rightarrow d_m S_m \quad (1)$$

其中, $sp_{i,j}$ 为在*i*科室就诊的*j*患者经历的服务流程; S_1, S_2, \dots, S_m 为患者经历的服务阶段, m 为门诊中所有服务阶段的个数; d_1, d_2, \dots, d_m 为患者是否经历对应服务阶段 S_1, S_2, \dots, S_m 的权重,例如,患者经历 S_1 服务阶段则 d_1 取值为1,患者没经历 S_1 服务阶段则 d_1 取值为0。

对应于不同的服务流程,相应的患者等待时间也不同。患者的排队时间可以描述为

$$wp_{i,j} = d_1 \alpha_{s_1} + d_2 \beta_{s_2} + \dots + d_m \xi_{s_m} \quad (2)$$

其中, $wp_{i,j}$ 为在*i*科室就诊的*j*患者的排队时间, $\alpha, \beta, \dots, \xi$ 为相应服务阶段的排队等待时间。

门诊系统中,当前阶段的患者流情况直接影响到下一阶段的患者流特征。而且,由于单个患者接受服务流程存在不确定性,因此不同阶段的患者流之间的影响关系并非是串联的,而是存在串联与并联的交叉作用关系。图1给出不同服务阶段之间患者流的影响关系,图中箭头的方向表示前一个阶段到后一阶段的患者流向,双向箭头表示两个阶段之间存在患者的双向流动现象。图1表达的患者流的影响关系可以描述为

$$FR = FD \quad (3)$$

$$FD = FS + FT + FM + dis \quad (4)$$

$$FS = FP + FT + FM + dis \quad (5)$$

$$FP = FT + FM \quad (6)$$

$$FT = FS + dis \quad (7)$$

其中, FR 为挂号阶段的患者数量, FD 为分诊/候诊阶段的患者数量, FS 为就诊阶段的患者数量, FP 为缴费阶段的患者数量, FT 为检查阶段的患者数量, FM 为取药阶段的患者数量, dis 为该阶段存在一定数量结

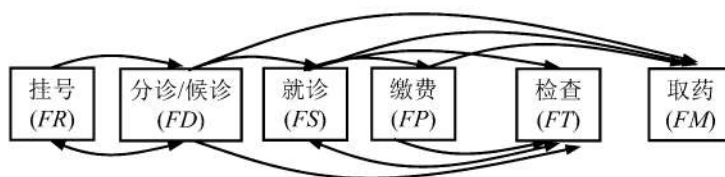


图1 不同阶段患者流的关系

Figure 1 Relationship among Patient Flow in Different Stages

束门诊流程的患者。

3.2 重负载

对于门诊系统,只有当服务台(挂号窗口或医生等)数量足够多,每一个服务台最多只有一名患者接受服务时,医院信息系统中的时间戳信息才可以反映患者到达的情况。而对于重负载的门诊服务,这种情况并不可能发生。因为重负载门诊系统中,一段时间内有一名以上患者同时到达服务台的概率极大。因此,重负载门诊的患者到达率并不服从当前排队系统研究中常用的泊松分布假设。

另外,医院信息系统中记录的时间戳信息,在重负载场景下反映的是服务效率。患者数量较多的重负载服务场景见图2,患者数量较少的服务场景见图3。图2中,1个圆点代表队列中的1名患者,患者数量大于挂号窗口数量,此时窗口前正在挂号的患者数量与服务台数量相同,即 $Q_{in-ser} = Q_{ser} = 5$, Q_{in-ser} 为正在服务中的患者数量, Q_{ser} 为服务台的数量,而该排队系统中的患者数量为 Q_p , $Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 21$,即此刻正在挂号的患者有5人,而排队系统中的总人数有21人,该场景可视为重负载服务系统。图3中,患者数量小于或者等于挂号窗口的数量,此时 $Q_{in-ser} = Q_{ser} = Q_p = 4$,即窗口前正在挂号的患者数量为4人,等于当前排队系统中患者的总数量,该场景往往可以视为非繁忙时段的服务场景,如医院的夜间急诊挂号。

服务台1 服务台2 服务台3 服务台4 服务台5

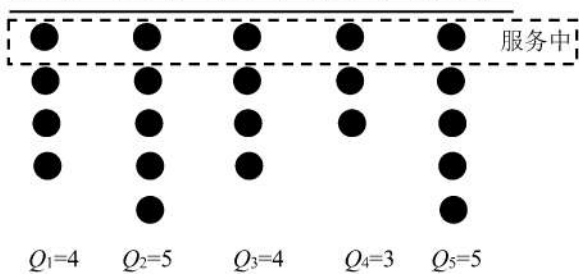


图2 患者数量较多的重负载服务场景
Figure 2 Heavy Load Service Scenario with a Large Number of Patients

服务台1 服务台2 服务台3 服务台4 服务台5

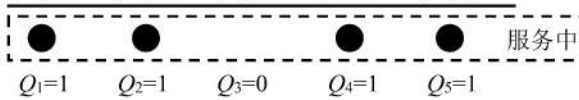


图3 患者数量较少的服务场景
Figure 3 Service Scenario with a Small Number of Patients

基于此,重负载服务场景可用图4示意表示,图中实线为挂号窗口存在正在接受服务的患者,即由于挂号窗口的数量和服务能力相对稳定,当前系统的服务负载保持稳定;虚线为实际患者排队的队列长度。由图4可知,重负载场景中,处于排队中的患者数量远远超出服务负载承受能力。需要在门诊运营管理中重点关注的是服务台在有负载的情况下工

作人员的服务效率,该服务效率决定了患者流进入下一服务阶段的流量。

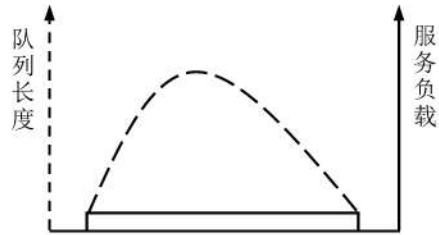


图4 患者等待队列长度与服务负载
Figure 4 Length of Patients' Waiting Queue and Service Load

4 门诊患者流的关键阶段分析

本研究主要对门诊系统中挂号、分诊/候诊和就诊阶段进行阐述,挂号是所有门诊患者进入系统的第1阶段,该阶段的负载相对较高,而分诊/候诊和就诊是患者在医院门诊停留期间消耗时间最长的阶段。因此,本研究主要对以上阶段进行分析并揭示服务效率与患者流等因素之间的关系。

4.1 挂号阶段

传统的排队论问题中,通常假设系统服务效率在有限时间内达到稳态。但本研究分析医院信息系统中的数据发现,医院的各阶段在1个服务周期(1个工作日)内无法达到稳态。图5给出2016年工作日的普通门诊在不同时间段(横坐标)的日均服务人次(纵坐标),即挂号阶段的服务效率。由图5可知,挂号窗口在上午9:00左右和下午14:00左右处于服务效率较高的阶段,但在整个服务周期内并没有呈现出相对平稳的时间区间,即不存在稳态。

对于重负载的门诊系统,在足够小的一段时间内,存在不止一名患者到达的情形。故患者到达时间目前无法通过人工或系统信息进行统计,对于挂号阶段难以通过精确的数据证明其服务效率与患者等候队列之间的关系,传统的排队论等研究方法在信息缺失的重负载非稳态场景下难以发挥作用。

需要注意的是,患者在完成挂号流程后,其在医院中的每一个阶段均有时间戳数据记录。因此,后续阶段是对这些数据进行分析并实现医院运营精准管理的重要阶段。

4.2 分诊/候诊和就诊阶段

患者挂号后将开始被分流到各个科室。患者从完成挂号到相应科室的分诊台报道有两种情况,一种是上午挂的是下午的就诊号,只能下午前往分诊台报道;另一种则是上午的就诊号,挂号后即直接前往分诊台。从挂号后到分诊台的时间,与医院的布局关系较大,且与服务能力和服务效率等关系较弱,因此在本研究中不予考虑。

患者到分诊台报道后,即进入候诊队列,本研究选取眼科普通门诊数据,进行医生服务效率与患者队列长度的相关性分析。眼科门诊的医疗服务具有一定的普适性和代表性,一是由于眼科门诊属于患

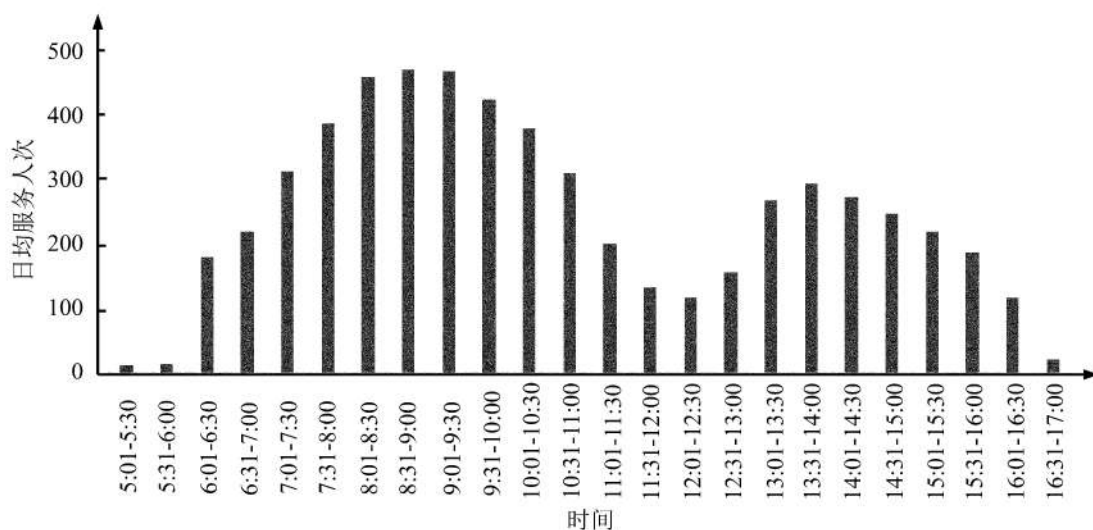


图5 挂号阶段服务效率

Figure 5 Service Efficiency at Registration Stage

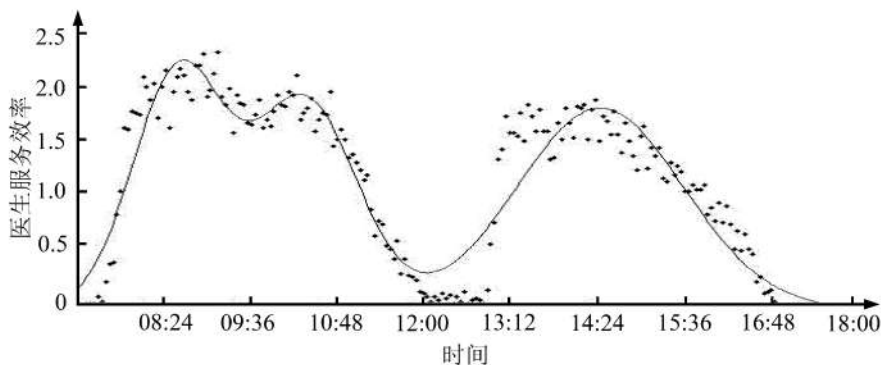


图6 医生服务效率曲线

Figure 6 Curve of Physicians' Service Efficiency

者流量较大的部门,符合重负载特征;二是眼科门诊的患者流量受季节等因素影响较低;三是与其他科室相比,眼科门诊既有内科的问诊等特点,又可在诊室内进行简单检查和处置等。同时,相对其他科室,眼科门诊需要运用大型仪器设备进行检查的患者较少,因此不会过多涉及检查完毕后返回诊室请医生看检查报告的情形,患者队列较为有序。通过对眼科门诊患者分诊/候诊和就诊时间戳数据的分析和计算,图6给出对医生服务效率统计和计算的散点图以及拟合曲线,可以看出医生服务效率随时间呈现不同的变化趋势。

对于图6中医生服务效率曲线随时间变化的拟合函数表达式为

$$E(t) = a_1 e^{-\frac{(t-b_1)^2}{c_1^2}} + a_2 e^{-\frac{(t-b_2)^2}{c_2^2}} + a_3 e^{-\frac{(t-b_3)^2}{c_3^2}} \quad (8)$$

其中, $E(t)$ 为医生服务效率, t 为时间, $a_1 \sim a_3$ 、 $b_1 \sim b_3$ 、 $c_1 \sim c_3$ 为参数。

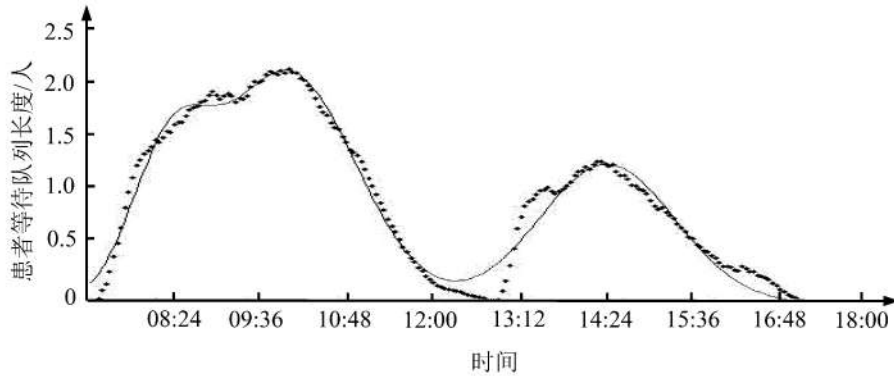
与真实数据相比,该拟合函数具有较好的拟合程度,即 SSE (和方差) 为 11.720, R^2 为 0.887, 调整的 R^2 为 0.882, $RMSE$ (均方差) 为 0.247。(8) 式中的参数取值见表 1。

表 1 (8) 式参数值

Table 1 Parameters Values of Equation (8)

参数	取值	95% 置信区间
a_1	2.104	[1.926, 2.282]
b_1	0.367	[0.365, 0.374]
c_1	0.036	[0.308, 0.041]
a_2	1.852	[1.712, 1.993]
b_2	0.440	[0.434, 0.446]
c_2	0.041	[0.034, 0.048]
a_3	1.780	[1.684, 1.876]
b_3	0.605	[0.602, 0.608]
c_3	0.069	[0.062, 0.070]

图7给出对患者等待队列长度变化的统计和拟合曲线,患者等待队列长度随时间变化呈现出双峰趋势。



注:患者等待队列长度通过取均值计算,为更好地体现等待队列随时间的变化趋势,并未对小数做取整处理。

图7 患者等待队列长度曲线

Figure 7 Curve of the Length of Patients' Waiting Queue

对于图7中患者等待队列长度曲线的拟合函数表达式为

$$Q(t) = \alpha_1 e^{-\frac{(t-\beta_1)^2}{\chi_1}} + \alpha_2 e^{-\frac{(t-\beta_2)^2}{\chi_2}} + \alpha_3 e^{-\frac{(t-\beta_3)^2}{\chi_3}} \quad (9)$$

其中, $Q(t)$ 为患者等待队列长度, $\alpha_1 \sim \alpha_3, \beta_1 \sim \beta_3, \chi_1 \sim \chi_3$ 为参数。

与真实数据相比,该拟合函数具有较好的拟合程度, SSE 为 230.100, R^2 为 0.975, 调整的 R^2 为 0.974, $RMSE$ 为 1.095。(9) 式中参数的取值见表 2。

表 2 (9) 式参数值

Table 2 Parameters Values of Equation (9)

参数	取值	95% 置信区间
α_1	20.860	[20.280, 21.440]
β_1	0.420	[0.417, 0.423]
χ_1	0.053	[0.049, 0.056]
α_2	11.910	[10.200, 13.630]
β_2	0.355	[0.353, 0.358]
χ_2	0.030	[0.027, 0.033]
α_3	12.520	[12.050, 12.990]
β_3	0.595	[0.593, 0.596]
χ_3	0.053	[0.050, 0.055]

图8给出医生服务效率与患者等待队列长度之间的相关关系。

由图8可知,医生服务效率在患者等待队列长度达到18人左右时最高,而后呈现下降趋势。对于图8中医生服务效率与队列中的患者数量,表3给出医生服务效率与患者等待队列长度的相关性检验结果。由表3可知,其相关程度达到99%,属于强相关。

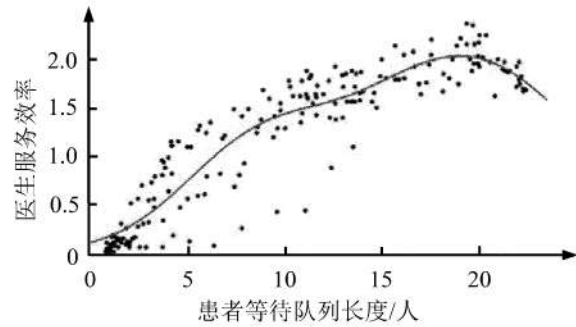


图8 医生服务效率与患者等待队列长度的关系

Figure 8 Relationship between Physicians' Service Efficiency and the Length of Patients' Waiting Queue

表 3 医生服务效率与患者等待队列长度的相关性检验结果

Table 3 Correlation Test Results for Physicians' Service Efficiency and the Length of Patients' Waiting Queue

		医生服务效率	患者等待队列长度
医生服务效率	Pearson 相关性	1	0.852
	显著性(双侧)		0
	样本数	191	191
患者等待队列长度	Pearson 相关性	0.852	1
	显著性(双侧)	0	
	样本数	191	191

图8拟合出的医生服务效率与患者等待队列长度相关关系曲线函数表达式为

$$RE(\theta) = \rho\alpha_1 e^{-\frac{\theta-\beta_1}{\rho\chi_1}} + \rho\alpha_2 e^{-\frac{\theta-\beta_2}{\rho\chi_2}} \quad (10)$$

其中, $RE(\theta)$ 为医生服务效率, θ 为患者等待队列长度, $\rho\alpha_1, \rho\alpha_2, \rho\beta_1, \rho\beta_2, \rho\chi_1, \rho\chi_2$ 为参数。

与真实数据相比, 该拟合函数具有较好的拟合程度, SSE 为 12.900, R^2 为 0.873, 调整的 R^2 为 0.870, $RMSE$ 为 0.258。(10) 式中的参数取值见表 4。

表 4 (10) 式参数值

Table 4 Parameters Values of Equation (10)

参数	取值	95% 置信区间
$\rho\alpha_1$	1.942	[1.845, 2.039]
$\rho\beta_1$	17.960	[16.590, 19.330]
$\rho\chi_1$	8.327	[3.664, 12.990]
$\rho\alpha_2$	0.850	[0.029, 1.670]
$\rho\beta_2$	7.340	[2.012, 9.669]
$\rho\chi_2$	5.248	[3.307, 7.189]

由于上述拟合函数较为复杂, 本研究对其进行简化, 简化后的拟合函数为

$$RE(\theta) = \rho\alpha \sin(\beta\theta + \chi) \tag{11}$$

其中, θ 的取值范围为 $[0, 22]$, $\rho = 1.872$, $\beta = 0.087$, $\chi = 0.026$ 。函数拟合的 SSE 为 12.740, R^2 为 0.878, 调整的 R^2 为 0.873, $RMSE$ 为 0.254。

为便于后文描述, 对 (11) 式进行简化, 得

$$E_{m,n}^y(t) = f[Q_{m,n}(t)] \tag{12}$$

其中, y 为医生; m 为阶段, $m=1, 2, \dots, 6$; n 为医疗服务; $E_{m,n}^y(t)$ 为 y 医生在第 m 阶段提供第 n 项医疗服务的效率; $Q_{m,n}(t)$ 为在第 m 阶段接受第 n 项医疗服务的患者等待队列长度。

4.3 不同服务阶段之间的协同模型

患者在接受门诊服务过程中需要经历不同阶段的服务。对于医院运营和管理来说, 如何将有限的资源科学合理地投放在能够整体提升服务效率的关键阶段至关重要。这些阶段之间具有一定的相互作用关系, 当前阶段输出的患者流, 构成下一阶段患者的输入流。为了更加清晰地从通用模型角度描述, 本研究基于上述提到的接受门诊服务的流程, 抽象出图 9 的模型。

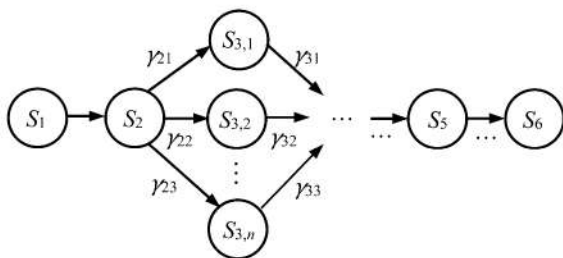


图 9 不同阶段的协同

Figure 9 Coordination among Different Stages

在图 9 中, $S_1, S_2, S_{3,1}, S_{3,2}, S_{3,n}, S_4, S_5 \dots$ 表示不同阶段的服务内容, 即 $S_{m,n}$ 表示第 m 阶段的第 n 项服务。例如, S_1 为挂号服务, S_2 为分诊/候诊服务, $S_{3,1}$ 为就诊阶段的眼科服务, $S_{3,2}$ 为就诊阶段的中医科服务, S_4 为检查阶段的血液化验服务, 等等。 γ 为转移的患者比例, 即从上一阶段进入到下一阶段的患者比例。该模型主要包括串联和并联两类衔接关系, 串联主要体现的是一系列的接诊阶段, 并联主要体现的是患者的分流和汇聚。根据上述对医生服务效率的分析, 可进一步得到如下关系。

患者等待时间为

$$W_{m,n}^x(t) = E_{m,n}^y(t) Q_{m,n}(t) \tag{13}$$

其中, x 为患者, $W_{m,n}^x(t)$ 为 x 患者在第 m 阶段接受第 n 项医疗服务的等待时间。由 (8) 式可以得到

$$Q_{m,n}(t) = \gamma \int_{t-\Delta t}^t E_{(m-1),n}^y(t) dt \tag{14}$$

其中, Δt 为统计的时间区间。

由此, 根据 (12) 式~(14) 式进一步可得

$$\begin{aligned}
 W_{m,n}^x(t) &= E_{m,n}^y(t) \gamma \int_{t-\Delta t}^t E_{(m-1),n}^y(t) dt \\
 &= \gamma f[Q_{m,n}(t)] \int_{t-\Delta t}^t f[Q_{(m-1),n}(t)] dt \tag{15}
 \end{aligned}$$

由 (15) 式可知, 患者在某一阶段接受服务消耗的时间, 其实与当前和上一阶段的患者等待队列长度相关, 即与上一阶段和当前阶段的服务效率相关。针对某一特定场景中的具体问题, 可以通过真实的医院信息系统数据分析确定函数 $f(\cdot)$ 。(15) 式建立的运营效率函数是针对挂号、分诊/候诊和就诊阶段, 该函数可以扩展到医院门诊的全部流程和阶段, 从而建立更复杂的函数关系, 由于篇幅所限, 本研究仅对挂号、分诊/候诊和就诊阶段进行数据分析。

根据 4.2 的数据分析结果可知, 医生服务效率随着患者等待队列长度的增加而提升, 且在一定的队列长度时达到极值。但由 (13) 式可知, 患者接受服务的总时间降低, 才能够反映系统的高效运行。因此, 需要平衡患者等待队列长度带来的医生效率的变化和候诊时间的变化。图 10 给出患者等待队列长度和等待时间的散点图和高斯拟合结果。

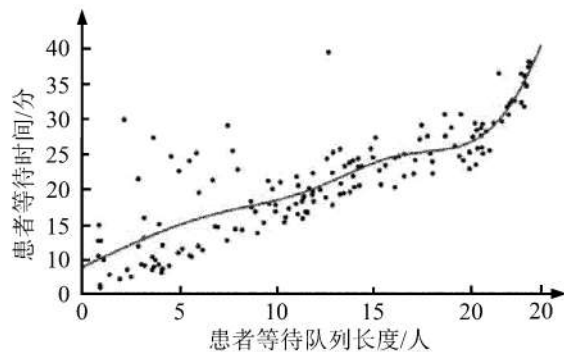


图 10 患者等待队列长度与等待时间关系

Figure 10 Relationship between the Length of Patients' Waiting Queue and Waiting Time

对于图10中患者等待队列长度与等待时间关系曲线的拟合函数表达式为

$$QW(\lambda) = \delta_1 e^{-\left(\frac{\lambda-\sigma_1}{\tau_1}\right)^2} + \delta_2 e^{-\left(\frac{\lambda-\sigma_2}{\tau_2}\right)^2} + \delta_3 e^{-\left(\frac{\lambda-\sigma_3}{\tau_3}\right)^2} \quad (16)$$

其中, λ 为等待时间, $QW(\lambda)$ 为患者等待队列长度, $\delta_1 \sim \delta_3, \sigma_1 \sim \sigma_3, \tau_1 \sim \tau_3$ 为参数。

与真实数据相比, 该拟合函数具有较好的拟合程度, SSE 为 2 425, R^2 为 0.709, 调整的 R^2 为 0.692, $RMSE$ 为 4.148。(16) 式中的参数取值见表 5。

表 5 (16) 式参数值

Table 5 Parameters Values of Equation (16)

参数	取值	95% 置信区间
δ_1	13.700	[-160.900, 188.300]
σ_1	5.521	[0.812, 10.230]
τ_1	6.218	[-27, 39.440]
δ_2	10.360	[-53.730, 74.440]
σ_2	13.610	[7.345, 19.870]
τ_2	4.076	[-2.461, 10.610]
δ_3	5.986e+15	[-2.345e+20, 2.345e+20]
σ_3	467.400	[-5.343e+5, 5.352e+5]
τ_3	78.050	[-4.668e+4, 4.683e+4]

由图10可知, 患者等待时间与患者等待队列长度呈现出阶梯形关系, 即在某些队列长度区间, 候诊时间随着人数增加增长较慢(图中曲线斜率较低的区间), 而有些区间则增长较快(图中斜率较高的区间)。由图10和(16)式可知, 患者队列在3人~8人区间、14人~18人区间时, 候诊时间增长较慢。结合图6和(8)式, 计算可知, 患者从3人增加到8人, 随着医生服务效率的改变, 其总候诊时间将增加4分钟; 患者从14人增加到18人, 其总候诊时间仅增加1分钟。因此可以得出结论, 在眼科门诊候诊的患者人数达到3人和14人时, 可以考虑通过调整前阶段的服务效率增加眼科门诊候诊患者流的输入速度, 尽快分别提升至8人和18人。这种方式能够在不明显增加患者等待时间的前提下, 提高医生服务效率。

进一步, 对于输入患者流的控制, 需要分析和研究挂号阶段的数据得到具体方案, 如在不同时间阶段开放不同数量的挂号窗口等方式。本研究暂不做进一步分析。需要指出的是, 上述结论仅针对挂号、分诊/候诊和就诊, 若将医院门诊系统的全部科室和流程阶段考虑在一起, 需要更复杂的协同, 调整涉及许多阶段, 这是一项极具价值和挑战的工作。

5 普适性分析和更一般的模型

5.1 医生服务效率 - 患者等待队列长度 - 等待时间关系的普适性分析

为确保本研究通过探索性数据分析方法获得的医生服务效率 - 患者等待队列长度 - 等待时间关系具有一定的普适性, 进一步选取2016年本研究案例医院全年工作日的中医科门诊数据进行验证。相对于其他门诊, 中医科门诊的患者流量较大, 符合重负载的特征。此外, 中医科患者需要进行的大型仪器检查相对较少, 患者队列有序性高。图11给出中医科门诊医生服务效率与患者等待队列长度的关系。

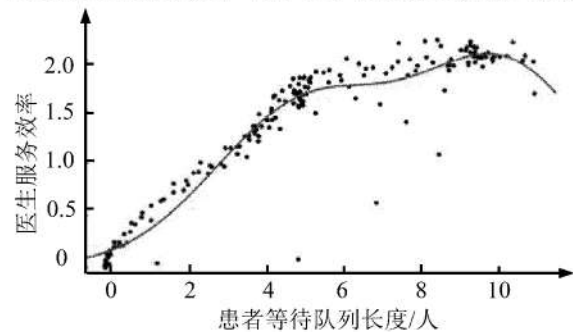


图 11 中医科门诊医生服务效率与患者等待队列长度的关系

Figure 11 Relationship between Physicians' Service Efficiency and the Length of Patients' Waiting Queue in the Department of Traditional Chinese Medicine Outpatient

由图11可知, 中医科门诊的医生服务效率在患者等待队列大约9人时达到最高, 而后呈下降趋势, 符合本研究针对随到随服务的重负载门诊系统提出的倒U形服务效率理论。

图11中拟合出的相关关系曲线函数表达式为

$$RE(\theta) = \rho\alpha_1 e^{-\left(\frac{\theta-\rho\beta_1}{\rho\chi_1}\right)^2} + \rho\alpha_2 e^{-\left(\frac{\theta-\rho\beta_2}{\rho\chi_2}\right)^2} \quad (17)$$

与真实函数相比, 该函数具有较好的拟合程度, SSE 为 7.408, R^2 为 0.930, 调整的 R^2 为 0.928, $RMSE$ 为 0.201。(17) 式中的参数取值见表 6。

表 6 (17) 式参数值

Table 6 Parameters Values of Equation (17)

参数	取值	95% 置信区间
$\rho\alpha_1$	877.600	[-1.129e+8, 1.129e+89]
$\rho\beta_1$	7.716	[-46.660, 62.090]
$\rho\chi_1$	3.694	[-325.000, 332.400]
$\rho\alpha_2$	-875.700	[-1.129e+8, 1.129e+8]
$\rho\beta_2$	7.715	[-46.730, 62.160]
$\rho\chi_2$	3.689	[-325.500, 332.900]

图12给出中医科门诊患者等待队列长度与等待时间的散点图和高斯拟合结果。

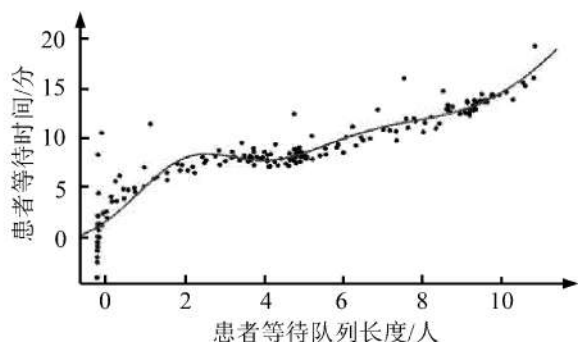


图12 中医科门诊患者等待队列长度与等待时间关系
Figure 12 Relationship between the Length of Patients' Waiting Queue and Waiting Time in the Department of Traditional Chinese Medicine Outpatient

图12中拟合出的相关关系曲线函数表达式为

$$QW(\lambda) = \delta_1 e^{-\left(\frac{\lambda-\sigma_1}{\tau_1}\right)^2} + \delta_2 e^{-\left(\frac{\lambda-\sigma_2}{\tau_2}\right)^2} + \delta_3 e^{-\left(\frac{\lambda-\sigma_3}{\tau_3}\right)^2} \quad (18)$$

与真实函数相比,该函数具有较好的拟合程度, SSE为261.200, R^2 为0.934, 调整的 R^2 为0.931, RMSE为1.205。(18)式中的参数取值见表7。

表7 (18)式参数值

Table 7 Parameters Values of Equation (18)

参数	取值	95%置信区间
δ_1	21.610	[-238.500, 281.700]
σ_1	14.240	[-108.800, 137.300]
τ_1	5.644	[-158.600, 169.900]
δ_2	7.371	[-192.300, 207]
σ_2	6.346	[-21.040, 33.730]
τ_2	3.503	[-24.670, 31.680]
δ_3	6.243	[-9.707, 22.190]
σ_3	2.267	[-1.048, 3.486]
τ_3	2.048	[0.859, 3.238]

由图12可知,中医科门诊的患者等待时间随着患者等待队列长度的增加呈阶梯形变化。图11和图12说明本研究提出的医生服务效率-患者等待队列长度-等待时间关系在不同的科室中均具有较高的准确性,在重负载医院具有一定的普适性。

5.2 更一般场景的探索性数据分析模型

本研究针对重负载医院门诊提出医生服务效率-患者等待队列长度-等待时间之间的定量关系,但这种关系在不同的重负载医院中有可能呈现出不同

的定量关联。为不失一般性,根据本研究思路,进一步从方法论层面提出可适用于重负载医院门诊服务系统的医院员工服务效率与患者流关系的分析模型,见图13。

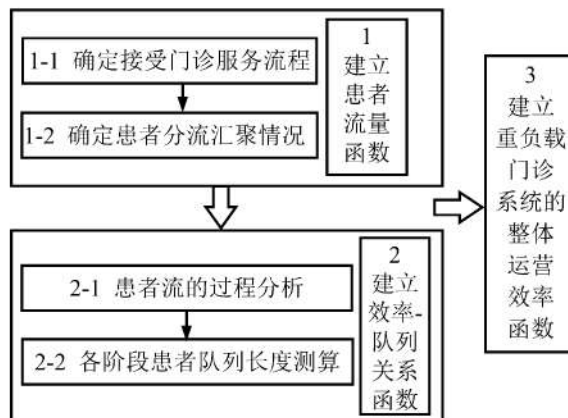


图13 一般模型

Figure 13 General Model

图13的一般分析模型大体分为3个步骤:①建立患者流量函数,②建立效率-队列关系函数,③建立重负载门诊系统的整体运营效率函数。在建立患者流量函数时,需要事先确定门诊的服务流程,并分析在该流程下患者流发生何种分流、汇聚等情况;在建立效率-队列关系函数时,需要设计好各阶段内服务效率的测算方法和患者候诊队列长度的测算方法,因为上述信息在医院信息系统中并无直接记载。基于患者流量函数和效率队列函数,可以根据不同的应用需求,建立运营效率函数,运营效率函数可以是以患者为线索的服务阶段在系统中的总时间长度。由于涉及到诸多科室和不同的患者流,该函数和模型的求解将异常复杂,需要采取大数据处理技术并依托高性能计算平台来实现。

6 理论意义和门诊运营管理讨论

本研究的核心思想是采取数据驱动的方法,将医院门诊各阶段的服务效率进行精确测算,并考虑患者的流动过程,进行服务效率的综合评估和提升。本研究为重负载服务系统优化研究提供了新的理论思路,具有重要的理论意义。同时,本研究结合当前中国在医改过程中大型医院的门诊系统在运营过程中发生的最新现象进行有针对性的讨论,并给出相关建议。

6.1 理论意义

本研究通过探索性数据分析方法发现医生服务效率-患者等待队列长度-等待时间之间的定量关系,医生服务效率随着患者等待队列长度的增加而提高,患者等待队列达到一定长度后,医生服务效率随着患者等待队列长度的增加而降低,呈倒U形关系;患者的等待时间随等待队列长度的增加而增加,呈阶梯形增长,但在增加过程中的增长速率呈现出

波动性,在等待队列大于一定长度后,等待时间呈现急剧增加的现象。当前面向医院服务效率的管理学研究中,国内外学者仅针对住院服务效率进行研究,并提出患者数量与服务效率的N形理论^[35],即服务效率随着患者数量的增加呈现出N形的波动曲线。本研究首次针对随到随服务的重负载门诊系统,分析并提出倒U形的服务效率理论,并进一步提出患者等待队列长度-等待时间之间的阶梯形关系。上述倒U形和阶梯形关系的发现,为重负载医院门诊管理提出了新的管理思路,打破了医院管理者潜意识中重负载医院不具备优化空间,因而只能通过增加员工来提高服务效率的常规逻辑,为管理学相关理论在医院管理中的应用提供了重要参考。

倒U形关系客观上反映了医生服务过程中的服务效率,即工作负载超过一定阈值后,可能引起工作效率的下降,符合管理学和行为学等相关实证研究的结论^[33];阶梯形关系表明患者等待队列长度的改变对等待时间的影响并非是完全线性关系,客观上反映了医学诊疗活动作为一种特殊的服务,其服务效率与服务时间存在一定的不确定性和规律性,这种不确定性也提示研究者在利用排队论等方法研究服务系统时,需要特别关注假设条件与真实服务系统的差异。

另外,本研究提出将大型医院视为一个复杂系统的研究思路和方法更具一般性,若以提高服务效率为目标,需要从系统角度整体考虑,建立包含几个主要阶段的患者流与医生服务效率的系统模型,才有可能找到真正提升门诊系统服务效率的方法,避免对单个阶段或节点优化带来的系统性不确定。这也是当前国内外研究中首次针对随到随服务重负载门诊提出的新的研究视角。

6.2 门诊预约策略的实施

当前中国一些大型医院开始考虑采取预约的门诊策略,逐步取消随到随服务的挂号方式。在日门诊量不变的情况下,预约策略主要降低了医院在挂号阶段的劳动力成本,减少了患者挂号排队等待时间。从本研究可以看出,这种方式对于重负载的门诊系统,尽管减少患者在窗口挂号的排队等待时间,但并不足以在后续的分诊、候诊、检查等环节起到提升服务效率的作用。

6.3 医改背景下大型医院患者数量的小幅降低

在当前中国大力推进分级诊疗、医联体模式的过程中,部分城市实施医事服务费取代挂号费后,门诊患者数量呈现出小幅下降。但医院的门诊医生、各阶段的工作人员和医院的管理人员并未感受到日门诊量下降带来的工作强度的降低。从本研究看,造成这一现象的原因有可能是患者数量在一定范围内的下降,导致医院员工服务效率降低,而数量的减少对候诊时间的影响却不显著,因此客观上患者数量的降低并没有带来医院运营效率的提升。

在这种情况下,一方面,大型医院需要在患者数量小幅下降的过程中进行运营效率的精准分析,通

过数据驱动的方式实现精准管理,协调各流程间的资源分配;另一方面,对于起到分流作用的中小型医院,同样需要通过精准的运营管理,注重与患者需求相匹配的自身服务能力的建设。

6.4 医院信息化建设向患者端延伸

中国已经经历了近十年的医疗和医院信息化建设,各级医疗机构在这一过程中大都建立起相对全面和完善的各类业务系统和管理信息系统。但随着“互联网+”和“云计算”等信息化建设以及各类技术的发展,大型医院也开始逐步建立面向患者的各类信息系统,如手机端预约挂号系统、检验检查结果查询系统等,还有一些是软硬件设备结合的院内自助挂号机、检查结果查询与报告打印机等。这些信息系统和设备直接面向患者,患者进行操作并获得相应的服务。这在一定程度上降低了医院的人力资源成本,但同时这些自助设备也改变了这些环节的服务效率。根据本研究成果,医院门诊系统某一阶段服务效率的变化带来了下一阶段患者输入流量的变化,单一阶段的服务效率提升,并不一定带来系统整体服务效率的提升。为提升系统整体效率,需要基于数据精准分析,确定服务效率提升的阶段和时间区间。

在这种情况下,大型医院在通过信息化手段提升某些阶段服务效率的同时,有必要通过对运营数据的精准分析,从提升整个门诊系统整体服务效率的角度,分阶段、有重点地部署相关的信息系统和设备,实现患者自助服务和人力资源成本与整体服务效率的协调发展。

7 结论

本研究从数据驱动的视角出发,从门诊系统考虑,以最新的研究视角,系统性地针对随到随服务的重负载的大型医院门诊系统服务效率与患者流关系进行研究。研究结果表明,医生的服务效率与患者候诊人数的多少具有较强的相关性,患者数量达到一定程度后,医生的服务效率下降,呈倒U形关系。基于这一发现,进一步提出患者等待队列长度与等待时间之间的阶梯形关系,从而揭示了医生服务效率-患者等待队列长度-等待时间三者之间的定量关系,并提供了利用上述关系提高医生服务效率的方法。

本研究仅考虑了队长因素对服务效率的影响,在后续研究中可以从更多维度研究并发掘与医生服务效率可能相关的因素,将研究对象扩展到不同的临床科室,结合科室特点和历史诊断数据,挖掘出更加精确的描述医生服务效率的模型。还可以增加数据的维度,全面考虑医院门诊系统的不同阶段以及检验检查等科室的服务效率,考虑检查和化验科室具有不同背景流量的情形,最大程度模拟真实的医院门诊系统运营场景,在对大量真实数据分析和挖掘的基础上,建立包含更多细节的系统运行效率模型。基于此模型,还可以考虑导入实时运营数据,开

发医院门诊运营管理的实时决策辅助工具。

参考文献:

- [1] 代英姿. 城市医疗资源的配置:非均衡与校正. *城市发展研究*, 2010,17(9):108-112.
DAI Yingzi. Study on the allocation of medical resources in cities: disequilibrium and correction. *Urban Studies*, 2010, 17(9):108-112.
- [2] 北京协和医院宣传处. 复旦大学医院管理研究所公布《2015年度中国最佳医院综合排行榜》:北京协和医院连续七年蝉联榜首. *协和医学杂志*, 2017,8(1):3.
Propaganda Department of Peking Union Medical College Hospital. Fudan University Hospital Management Institute announces "2015 China's best overall hospital ranking": the Peking Union Medical College Hospital topped the top of the list for seven consecutive years. *Medical Journal of Peking Union Medical College Hospital*, 2017, 8(1):3.
- [3] 陆心怡,张润彤,朱晓敏. 患者偏好系数与医疗卫生机构就诊率的关系研究. *管理科学*, 2017,30(1):83-94.
LU Xinyi, ZHANG Runtong, ZHU Xiaomin. A study on the relationship between patient preference coefficient and treatment rate of medical and health institutions. *Journal of Management Science*, 2017,30(1):83-94.
- [4] 郭熙铜,张晓飞,刘笑笑,等. 数据驱动的电子健康管理研究:挑战与展望. *管理科学*, 2017,30(1):3-14.
GUO Xitong, ZHANG Xiaofei, LIU Xiaoxiao, et al. eHealth service management research in the big data era: challenges and future directions. *Journal of Management Science*, 2017,30(1):3-14.
- [5] 张志强,李庆丰,方志华. 时点实时预约挂号的实践与思考. *中华医院管理杂志*, 2010,26(2):90-93.
ZHANG Zhiqiang, LI Qingfeng, FANG Zhihua. Practice and review on real-time hospital booking registration. *Chinese Journal of Hospital Administration*, 2010,26(2):90-93.
- [6] 曹萍萍,唐加福. 多医生环境考虑患者爽约的门诊预约决策方法. *系统工程理论与实践*, 2017,37(4):928-936.
CAO Pingping, TANG Jiafu. A decision-making method for outpatient appointment with multiple doctors considering no-shows. *Systems Engineering - Theory & Practice*, 2017,37(4):928-936.
- [7] 周奇. 医院门诊预约系统的优化分析:基于国内某大型医院的研究. 合肥:中国科学技术大学, 2017:1-51.
ZHOU Qi. *Optimization analysis of hospital clinic appointment system: a study based on a large hospital in China*. Hefei: University of Science and Technology of China, 2017: 1-51.
- [8] HARRIS S L, MAY J H, VARGAS L G. Predictive analytics model for healthcare planning and scheduling. *European Journal of Operational Research*, 2016,253(1):121-131.
- [9] RIISE A, MANNINO C, BURKE E K. Modelling and solving generalised operational surgery scheduling problems. *Computers & Operations Research*, 2016,66:1-11.
- [10] HARPER P R, SHAHANI A K. Modelling for the planning and management of bed capacities in hospitals. *Journal of the Operational Research Society*, 2002,53(1):11-18.
- [11] 白雪,罗利,李蓉梅. 医院管理中手术排程研究现状及发展前景. *管理评论*, 2011,23(1):121-128.
BAI Xue, LUO Li, LI Rongmei. Operating room scheduling: research overview and prospect. *Management Review*, 2011, 23(1):121-128.
- [12] LI F, GUPTA D, POTTHOFF S. Improving operating room schedules. *Health Care Management Science*, 2016,19(3):261-278.
- [13] ABUALENAIN J, FROHNA W J, SHESSER R, et al. Emergency department physician-level and hospital-level variation in admission rates. *Annals of Emergency Medicine*, 2013,61(6):638-643.
- [14] LUSCOMBE R, KOZAN E. Dynamic resource allocation to improve emergency department efficiency in real time. *European Journal of Operational Research*, 2016,255(2):593-603.
- [15] BATT R J, TERWIESCH C. Waiting patiently: an empirical study of queue abandonment in an emergency department. *Management Science*, 2015,61(1):39-59.
- [16] BEN-TOVIM D, FILAR J, HAKENDORF P, et al. Hospital event simulation model: arrivals to discharge-design, development and application. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2016,68:80-94.
- [17] YANKOVIC N, GREEN L V. Identifying good nursing levels: a queuing approach. *Operations Research*, 2011,59(4):942-955.
- [18] ZACHARIAS C, ARMONY M. Joint panel sizing and appointment scheduling in outpatient care. *Management Science*, 2016,63(11):3531-3997.
- [19] SHI P Y, CHOU M C, DAI J G, et al. Models and insights for hospital inpatient operations: time-dependent ED boarding time. *Management Science*, 2016,62(1):1-28.
- [20] ARMONY M, ISRAELIT S, MANDELBAUM A, et al. On patient flow in hospitals: a data-based queueing-science perspective. *Stochastic Systems*, 2015,5(1):146-194.
- [21] ROHLEDER T R, LEWKONIA P, BISCHAK D P, et al. Using simulation modeling to improve patient flow at an outpatient orthopedic clinic. *Health Care Management Science*, 2011,14(2):135-145.
- [22] QU X L, PENG Y D, KONG N, et al. A two-phase approach to scheduling multi-category outpatient appointments: a case study of a women's clinic. *Health Care Management Science*, 2013,16(3):197-216.
- [23] BARON O, BERMAN O, KRASS D, et al. Using strategic idleness to improve customer service experience in service networks. *Operations Research*, 2014,62(1):123-140.
- [24] JIANG L X, GIACHETTI R E. A queueing network model to analyze the impact of parallelization of care on patient cycle time. *Health Care Management Science*, 2008,11(3):248-261.
- [25] BRAHIMI M, WORTHINGTON D J. Queueing models for out-patient appointment systems: a case study. *Journal of the Operational Research Society*, 1991,42(9):733-746.
- [26] GREEN L V, KOLESAR P J, WHITT W. Coping with time-varying demand when setting staffing requirements for a serv-

- ice system. *Production & Operations Management*, 2007, 16(1):13-39.
- [27] MARDIAH F P, BASRI M H. The analysis of appointment system to reduce outpatient waiting time at Indonesia's public hospital. *Human Resource Management Research*, 2013, 3(1):27-33.
- [28] ALLON G, DEO S, LIN W. The impact of size and occupancy of hospital on the extent of ambulance diversion: theory and evidence. *Operations Research*, 2013, 61(3):544-562.
- [29] DAI J G, SHI P Y. A two-time-scale approach to time-varying queues in hospital inpatient flow management. *Operations Research*, 2017, 65(2):514-536.
- [30] KC D S, TERWIESCH C. Impact of workload on service time and patient safety: an econometric analysis of hospital operations. *Management Science*, 2009, 55(9):1486-1498.
- [31] KC D S, TERWIESCH C. An econometric analysis of patient flows in the cardiac Intensive Care Unit. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2012, 14(1):50-65.
- [32] FINDLAY M, GRANT H. An application of discrete-event simulation to an outpatient healthcare clinic with batch arrivals // *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*. Phoenix, AZ, 2011:1166-1177.
- [33] JAEKER J B, TUCKER A L. Past the point of speeding up: the negative effects of workload saturation on efficiency and patient severity. *Management Science*, 2017, 63(4):1042-1062.
- [34] WIJEWICKRAMA A K A, TAKAKUWA S. Simulation analysis of an outpatient department of internal medicine in a university hospital // *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*. Monterey, CA, 2006:425-432.
- [35] BARIL C, GASCON V, MILLER J, et al. Use of a discrete-event simulation in a Kaizen event: a case study in health-care. *European Journal of Operational Research*, 2016, 249(1):327-339.
- [36] 薛学明, 薛声家. 医院门诊服务系统的GPSS/H仿真及其结果分析. *暨南大学学报(自然科学与医学版)*, 2002, 23(1):60-65.
XUE Xueming, XUE Shengjia. Simulation with GPSS/H for a hospital clinic service system and its result analysis. *Journal of Jinan University (Natural Science & Medicine Edition)*, 2002, 23(1):60-65.
- [37] 朱明珠, 齐二石, 杨甫勤. 基于开排队网络的医院门诊服务台优化配置. *工业工程与管理*, 2016, 21(5):129-133, 140.
ZHU Mingzhu, QI Ershi, YANG Fuqin. The resource optimization of service desks in the outpatient based on the open queuing network. *Industrial Engineering and Management*, 2016, 21(5):129-133, 140.
- [38] 苏强, 姚晓耘, 施京华. 基于MedModel的医院挂号流程仿真与优化. *工业工程与管理*, 2006, 11(6):59-63.
SU Qiang, YAO Xiaoyun, SHI Jinghua. MedModel based hospital registration process simulation and optimization. *Industrial Engineering and Management*, 2006, 11(6):59-63.
- [39] 陈通, 王丽姿, 刘子先. 医院门诊药房服务系统设计研究. *中华医院管理杂志*, 2007, 23(3):158-160.
CHEN Tong, WANG Lizi, LIU Zixian. Study on the design of service system of hospital outpatient pharmacy. *Chinese Journal of Hospital Administration*, 2007, 23(3):158-160.
- [40] 罗利, 申晓君, 严学勇, 等. 病人不守时下的CT检查预约仿真与优化. *工业工程与管理*, 2015, 20(1):77-84.
LUO Li, SHEN Xiaojun, YAN Xueyong, et al. Simulation and optimization in CT examination appointment considering the situation of unpunctual patients. *Industrial Engineering and Management*, 2015, 20(1):77-84.

Relationship between Service Efficiency and Patient Flow in Large Hospital Outpatient System: A Data Driven Perspective

ZHANG Runtong^{1,3}, ZHAO Hongmei¹, XU Yuan¹, ZHANG Xiong¹, WANG Chao², SHANG Xiaopu^{1,3}

1 School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

2 School of Economics and Management, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China

3 Beijing Logistics Informatics Research Base, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

Abstract: Existing studies on hospital management mainly focus on the resource optimization for inpatient system, as well as the outpatient system with patient appointment mode. Few researches have been done on the outpatient system without patient appointment made in advance, especially concerning the featured operational procedures hidden in outpatient system with walk-in service mode.

In the scenario of heavy load outpatient system, exploratory data analysis, regression fitting and correlation analysis are adopted in this study. Using real time stamp data of the hospital information system generated for the patient hospital visits, this study mines the relationship between service efficiency and patient flows to identify the relationship among "service efficiency - length of patient queue - and waiting time". Based on this, a general mode on outpatient flows with multi-service-stages of outpatient system is designed to mine the operational procedures for outpatient service system.

Data experiment indicates that with the increasing of service efficiency, the length of waiting queue increase and then goes

down, as an inverted “U shape”. Meanwhile, with the increasing length of waiting queue, the waiting time increases periodically like a “stair shape”. Results of this exploratory data analysis show that the service efficiency has potential relationships with the patient flow. This relationship feature can be used to adjust the patient flow and service efficiency in different stages.

The study results also indicates hospital management with multi-service-stages of outpatient system from informationalized perspective is of vital importance to increase service efficiency for outpatients and mitigate the hospital services resources.

Keywords: service efficiency; patient flow; data driven; length of queue; waiting time

Received Date: September 24th, 2017 **Accepted Date:** July 3rd, 2018

Funded Project: Supported by the National Natural Science Foundation of China(61702033,71532002), Humanities and Social Science Foundation of Ministry of Education of China(17YJC870015), and the Beijing Humanities and Social Science Foundation(19JDGLB022)

Biography: ZHANG Runtong, doctor in management, is a professor in the School of Economics and Management and the Beijing Logistics Informatics Research Base at Beijing Jiaotong University. His research interests cover healthcare information, recourse optimization, theories and approaches of modern management. His representative paper titled “Design theory, modelling and the application for the internet of things service” was published in the *Enterprise Information Systems* (Issue 3, 2016). E-mail: rtzhang@bjtu.edu.cn

ZHAO Hongmei is a Ph. D candidate in the School of Economics and Management at Beijing Jiaotong University. Her research interests include hospital operations and management, medical data analysis and decision-making. Her representative paper titled “Analysis and countermeasures suggestions of influencing factors of clinical pathway completion” was published in the *Chinese Hospital Management* (Issue 5, 2015). E-mail: zhaohongmei81@163.com

XU Yuan is a master degree candidate in the School of Economics and Management at Beijing Jiaotong University. Her research interests cover medical data analysis, hospital operations and management, and fuzzy decision. E-mail: 17120627@bjtu.edu.cn

ZHANG Xiong, doctor in engineering, is a lecturer in the School of Economics and Management at Beijing Jiaotong University. His research interests cover information security, data mining, and healthcare information. His representative paper titled “The classification of hackers by knowledge exchange behaviors” was published in the *Information Systems Frontiers* (Issue 6, 2015). E-mail: xiongzhang@bjtu.edu.cn

WANG Chao, doctor in management, is an associate professor in the School of Economics and Management at Beijing University of Technology. His research interest focuses on heuristic algorithms and simulation. His representative paper titled “A parallel simulated annealing method for the vehicle routing problem with simultaneous pickup-delivery and time windows” was published in the *Computers & Industrial Engineering* (Volume 83, 2015). E-mail: cwang@bjut.edu.cn

SHANG Xiaopu, doctor in management, is an associate professor in the School of Economics and Management and the Beijing Logistics Informatics Research Base at Beijing Jiaotong University. His research interests include data driven medical and healthcare management and decision-making, technology and society. His representative paper titled “A knowledge-constrained access control model for protecting patient privacy in hospital information systems” was published in the *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* (Issue 3, 2018). E-mail: sxp@bjtu.edu.cn □