

# 区域性医疗集团资源协同仿真建模和政策建议研究

胡依群<sup>1</sup>, 苏强<sup>1</sup>, 李晓雪<sup>2</sup>, 郑静晨<sup>2</sup>

(1. 同济大学经济管理学院, 上海 200092; 2. 中国武警总医院现代化医院管理研究所, 北京 100039)

**摘要:** 为了缓解居民“看病难、看病贵”的问题, 我们构建了“社区-医院”的二级医疗服务系统概念模型, 并建立了患者偏好的函数模型和转诊机制, 采用 AnyLogic 软件对系统进行建模, 并以上海市嘉定区为例, 通过引入实际案例数据展示了该模型如何用于探讨不同医疗合作模式和医疗改革政策, 结果显示, 提升基层医疗服务质量以及医保报销比例能够有效提升医疗服务系统的整体效率。

**关键词:** 智能体仿真; 政策仿真; 医疗改革; 患者选择行为

**中图分类号:** R197.32    **文献标识码:** A

## Collaborative Simulation and Modeling of a Regional Healthcare Group with Policy Suggestions

Hu Yiqun<sup>1</sup>, Su Qiang<sup>1</sup>, Li Xiaoxue<sup>2</sup>, Zheng Jingchen<sup>2</sup>

(1. School of Economics & Management, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. The General Hospital of Chinese PLA Police Forces, Modern Hospital Management Institute, Beijing 100039, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of residents' difficulties in affording expensive medical treatment, we build a community-hospital concept model of a secondary medical service system, and establish a function model and a referral mechanism for patients' preferences. Taking Jiading District in Shanghai as an example, we make use of the AnyLogic system modeling software and demonstrate how this model can be used to study the effect of different medical cooperation modes and medical reform policies through the introduction of actual case data. Our results show that promoting the quality of primary medical care services and increasing the reimbursement ratio of medical insurance can effectively improve the efficiency of the whole medical service system.

**Keywords:** agent-based modeling; policy simulation; healthcare reform; patient preference

### 一、前言

20 世纪 80 年代, 区域性“医疗集团”这一提法在我国就已经产生, 此外还有医疗联合体、医疗

共同体、医疗联盟等诸多称谓。最常见的形式是指以某个技术力量雄厚、学科优势明显的综合性大型医院为中心, 通过科研技术合作、品牌联盟等形式, 由多个具有法人资格的医院、基层医疗机构共同参

收稿日期: 2016-12-16; 修回日期: 2016-12-23

通讯作者: 郑静晨, 中国武警总医院现代化医院管理研究所, 主任医师, 中国工程院, 院士, 主要研究方向为全民健康与医药卫生事业发展;  
E-mail: zjc9@vip.163.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“我国全民健康与医药卫生事业发展战略研究”(2014-ZD-06)

本刊网址: www.enginsci.cn

与合作的医疗机构集合体,其目的是促进分级诊疗、发挥品牌效益、实现优势互补和资源共享,与国外所有权、管理权统一的医疗集团相比较有明显的区别,国内的医疗集团大多是一种契约式、松散型的合作模式。前期调研发现,当前我国区域医疗集团资源协同主要存在如下问题。

(1) 隶属关系和行政权力条块分割,导致医疗机构整合意愿先天不足。在我国,90%以上的医疗机构属于地方,二、三级医疗机构均为市、区级资产。隶属、财务和人事等核心权利的分离再加上医保政策限制等因素的影响,导致不同机构间人员变动、资金流动和资源协同等受到明显的体制性限制。

(2) 利益分配与补偿机制扭曲导致医疗机构整合效果差强人意。在已有的区域医疗集团化实践中,医疗集团内的医院与社区卫生服务中心间缺乏合理的利益协调机制,核心是缺少双向转诊的运行动力。由于收入原因,二、三级医院希望基层医疗机构的患者都送往本单位,但是,基层医疗机构也希望留住这部分患者。对于从上级向下转的部分康复期患者因经济效益、人力成本等因素在基层医疗机构并不受欢迎。

(3) 社区卫生服务中心的全科医生缺位导致医疗机构整合缺乏基础支撑。目前,我国社区卫生服务中心等基层医疗机构的技术力量比较薄弱,全科医生总量不足,难以发挥慢性病防治、预防保健和健康指导的“守门人”作用,患者对社区医疗服务水平也存在担忧,给患者下转造成障碍。

针对我国存在的问题,我们采用仿真方法进一步研究探索其根本症结。Lebaron等[1]首次运用AnyLogic仿真方法模拟了真实的社会场景,成功模拟出股市的演变趋势。Yang等[2]提出了基于时间-空间的传染病模型。李清慧等[3]通过定义产业园区内企业废物交换行为和机制,研究了产业共生系统的演化模式。这些研究成果为AnyLogic软件在资源协同仿真的应用奠定了理论基础。

## 二、研究对象与方法

### (一) 研究对象

本研究选择上海市嘉定区作为研究对象,该区总面积464.2 km<sup>2</sup>,拥有156.8万常住人口[4]。根据2015年上海市嘉定区国民经济和社会发展统计

公报中的数据,截至2015年年底,嘉定区共有各级、各类医疗卫生机构294个,区级及以上医疗机构9个,病床4445张,卫生技术人员7173人,其中执业(助理)医师2888人,注册护士3052人。全区共有社区卫生服务中心及分中心19家。全年完成诊疗1062.2万人次,出院9.3万人次,区级医院住院病人施行手术5.2万人次。2015年,社区卫生服务中心诊疗424.4万人次,同比增长5.8%,门诊量占全区总业务量的比例达40%。家庭医生制服务工作全面展开,截至2015年年底,签约居民已达到23.7万户(53.2万人)。2015年,享受门诊、急诊诊疗费减免共有373.0万人次,减免费用共965.8万元。实施药品零差率的基本药物累计支出5269.8万元,人均优惠约14元[4]。

### (二) 研究方法

AnyLogic软件是以复杂系统设计方法论为基础的仿真软件,也是第一个将统一建模语言(UML)引入模型仿真领域的工具,并能够对当前主流的离散事件模型、基于智能体的模型和系统动力学模型进行建模和仿真。AnyLogic软件的建模方法适用于不同的抽象层级范围:系统动力学建模适合较高的抽象层级;基于智能体建模适合于中等抽样层级的模型,既可以实现较低抽样层级的物理对象细节建模,也可以实现公司和政府等高层级的建模;离散事件建模则适用于更为细节的微观层面建模[5]。区域医疗集团资源协同仿真模型运行主界面如图1所示。关键绩效指标(KPI)展示界面如图2所示,展示了数据统计分析的结果。在系统中,可以根据需求提取数据并进行分析。在图2中,柱状图直观展示了当前患者的就医结构以及在各类医疗机构的治愈情况;趋势图则记录了社区卫生服务中心就诊比例以及系统效率随时间的变化情况。医疗机构服务效率展示界面如图3所示,能够实时展示当前系统内各医疗机构的治疗总成本和资源利用率的变化。

## 三、实验设计

### (一) 环境参数设置

在AnyLogic软件中引入地理信息系统(GIS)并搜索上海市嘉定区的GIS连续空间,界定模型范

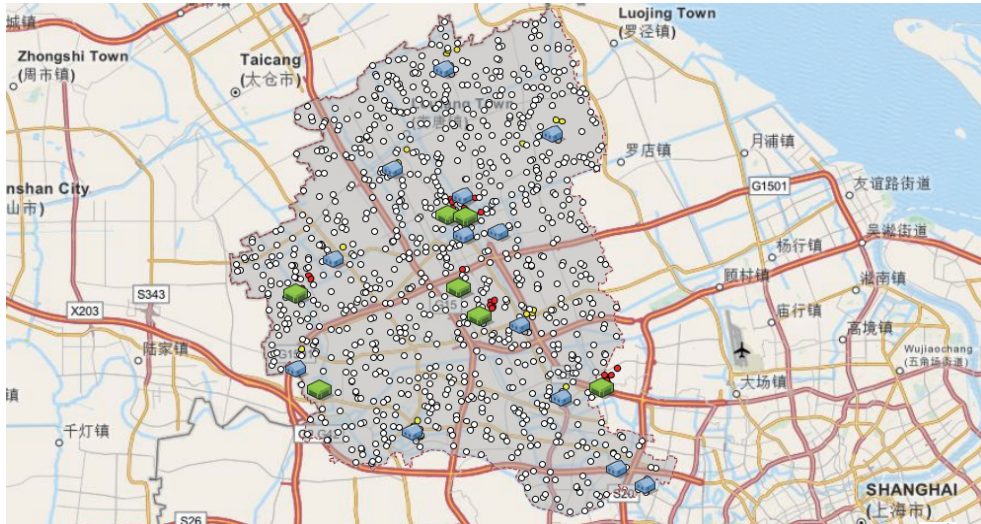


图1 区域医疗集团资源协同仿真模型运行主界面

注：蓝色立方体和绿色立方体分别代表不同层级的医疗机构，即社区医疗服务中心和医院。对于患者而言，由于人口的数量过大，难以通过数据导入的方式定义，所以，本研究在模型启动的时候运用方程在系统内随机分配人群位置，即圆点位置。

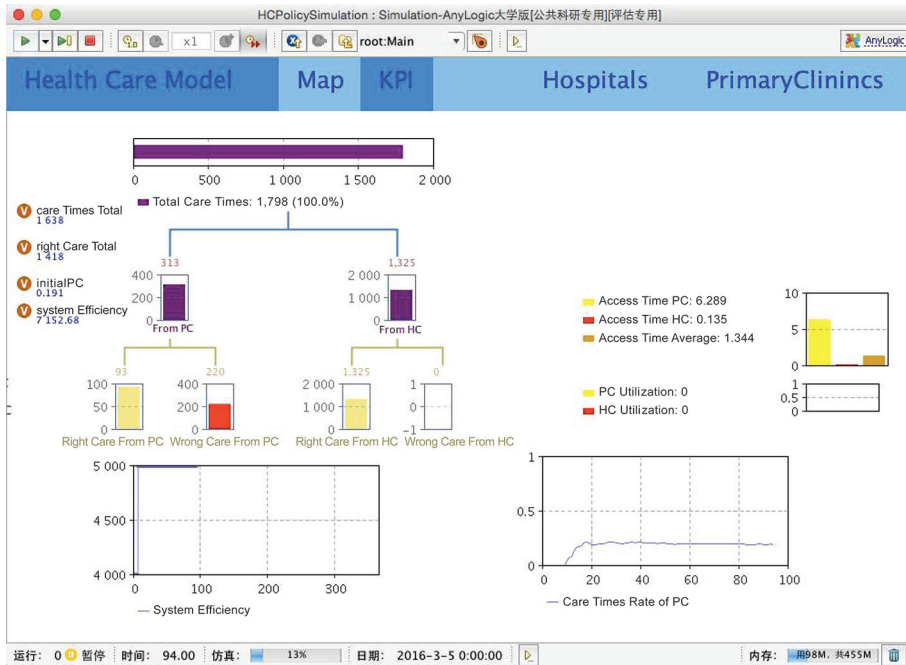


图2 关键绩效指标 (KPI) 展示界面

注：PC: primary care; HC: hospital care.

围R。参考2014年《嘉定年鉴》设置其余环境参数[6]。

本研究中主要包含医疗服务提供方（各级医疗机构）和医疗服务的需求方（需求人群）两类。本研究根据提供服务内容和服务水平的区别，将医疗服务提供方界定为“基层医疗机构（含社区卫生服务中心和乡镇卫生院）-医院”两级医疗服务网络，医疗服务的需求方则是产生医疗服务需求的人群。与医疗机构层级对应的，本研究根据疾病严重程度

将患者分为A类和B类，如图4所示。其中A类患者患病程度较轻，可以被社区服务卫生中心和乡镇卫生院治愈；B类患者患病程度较重，只能够被医院治愈。考虑转诊需求，当B类患者在医院接受一段时间治疗，病情稳定之后，即可选择是否转诊至社区卫生服务中心继续接受治疗，如B类患者一开始选择社区卫生服务中心，则社区卫生服务中心会因为无法诊断而上转至医院接受治疗。这里需要

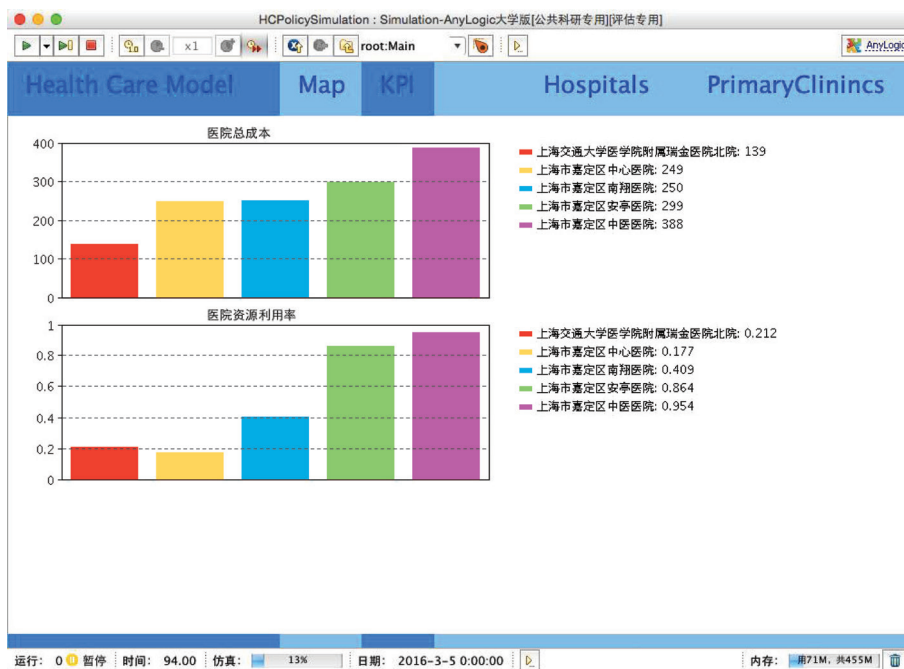


图 3 医疗机构服务效率展示界面

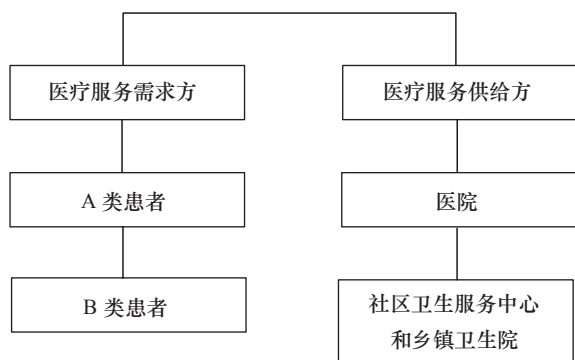


图 4 模型内部主体

注意的是，实际上，并不是所有 B 类患者都可以分流至社区，模型中对转诊率的上下限均是可调节的，因此不对 B 类患者做进一步细分。

初始设置下，总数量为  $N_R$  的人群随机分布在范围  $R$  内，其中患 A 类疾病的概率为  $P_A$ ，患 B 类疾病的概率为  $P_B$ ，且有  $P_B = 1 - P_A$ 。

由于仿真规模的限制，人群数量和床位数均按照 10:1 等比例缩减。由于无法获取上海嘉定区的实际数据及病种分流的国家级标准，在资源有限的情况下参考王文华 2011 年对山东省农村地区住院常见病可分流病种的研究。王文华的研究收集了 9 501 份患者调查问卷和 305 名医务人员的访谈结果，数据显示常见 55 种医院住院常见病例

占调查总住院病例的 84.92%，其中有 15 种适宜分流到基层，占住院常见病例的 50.43%，即占总住院病例 42.83% 的患者能够分流至基层，故设置  $P_A = 0.4283$ ，则  $P_B = 0.5717$ （见表 1）。

### (二) 目标函数的参数设置

目标函数的参数设置如表 2 所示，其中治愈率数据来源于 2014 年《嘉定年鉴》卫生板块 [6]。

### (三) 医疗机构属性值设计

设定医疗机构的各属性值，住院天数、医院等级、地理位置、床位数均参见 2014 年《嘉定年鉴》[6]。

### (四) 患者属性值设计

患者分流结构由个体偏好度决定，因没有数据支持，研究采用系统优化的方式进行赋值。以患者初始就诊结构为参考，设置与实际就诊结构偏差最小的组合。

### (五) 决策变量设计

在政策仿真的模型中，可以通过调节决策变量的值来观察政策对系统的影响。本研究中加入的变量包括：转诊率、社区医疗保险报销额度以及社区卫生服务中心治愈率。

表 1 环境参数

人群数量	年住院率	$P_A$	$P_B$
156 800	6.39%	0.428 3	0.571 7

表 2 目标函数的参数设置

分类	治愈率 (社区卫生服务中心) / %	治愈率 (医院) / %	日均治疗费用 (社区卫生服务中心) / (元·天 <sup>-1</sup> )	日均治疗费用 (医院) / (元·天 <sup>-1</sup> )	单位距离成本 / (元·km <sup>-1</sup> )
A 类	47	100	322.1	929.1	3
B 类	0	96	322.1	929.1	3

注: 从治疗成本的角度考虑, 假定社区卫生服务中心治疗 B 类患者的日均成本与 A 类患者一致。

## 四、结果

### (一) 模型有效性验证

$$a_i = (y_i - \hat{y}_i) / \hat{y}_i, \quad i = 1, 2, \dots, g \quad (1)$$

式 (1) 中,  $y_i$  和  $\hat{y}_i$  分别表示第  $i$  个对比值的仿真值和实际值,  $g$  为模型中对比值的数目。一般认为  $a < 5\%$  的变量数占 70% 以上, 且每个变量的相对误差不大于 10% 时, 模型的总体仿真和预测性能较好。由于模型中各种因素的作用, 关系错综复杂, 所以需要计算各仿真变量的均方误差来检验模型的仿真效果。计算方法如下:

$$RMS_i = \sqrt{\sum_1^n a_{ij}^2 / n} \quad (2)$$

式 (2) 中,  $RMS_i$  为第  $i$  个观测值的均方误差,  $n$  为观测个数。一般认为, 在各检验统计量中,  $RMS$  更具有普遍意义, 对检验模型系统的总体拟合度更有效。一般认为,  $RMS_i < 5\%$  表示模型拟合较好,  $5\% < RMS_i < 10\%$  也可以接受。在本研究中, 观测值为各个医疗机构的就诊比例, 需要调整的数值为患者对价格、质量、距离以及等待时间的偏好度, 分别表示为  $\omega_{i,p}, \omega_{i,q}, \omega_{i,d}, \omega_{i,t}$ 。校准实验设计见表 3, 且满足  $\omega_{i,p} + \omega_{i,q} + \omega_{i,d} + \omega_{i,t} = 1$ 。

在 AnyLogic 中运行该实验, 如图 5 所示。设置每次实验迭代次数为 300, 进行 3 次共 900 次迭代。相对误差逐步降低, 结果得  $\omega_{i,p} = 0.1, \omega_{i,q} = 0.15, \omega_{i,d} = 0.15, \omega_{i,t} = 0.6$ 。

校准实验界面表示的是通过调整患者对价格、质量、距离以及等待时间的偏好度 ( $\omega_{i,p}, \omega_{i,q}, \omega_{i,d}, \omega_{i,t}$ ), 使得观测值, 即各个医疗机构的就诊比例与

实际情况最为接近。图 5 中灰色线表示的是每一次实际值与实验值的差距, 蓝色线表示整个迭代过程, 即最优解的下降趋势。初始设置下, 进行实验可以看到人均治疗总成本有一个先增后降的过程, 自第 40 天开始逐渐趋于平稳, 人均治疗总成本稳定在 10 000 元左右, 可以将其视作系统在 40 天后度过预热期, 达到稳定状态, 如图 6 所示。

### (二) 调整医保报销比例仿真实验

报销比例对患者就诊流向影响较大。分析提高社区卫生服务中心的报销比例对人均治疗总成本的影响, 结果如图 7 所示, 当报销比例提高至 83% 时, 系统效率最高, 随后人均治疗总成本呈现上升趋势, 这可能是因为当前社区卫生服务中心的服务质量和能力难以承载过多的患者的原因。

表 3 校准实验设计

变量	起始值	上界	下界	步长
$\omega_{i,p}$	0.3	0.1	1	0.05
$\omega_{i,q}$	0.4	0.1	1	0.05
$\omega_{i,d}$	0.1	0.1	1	0.05
$\omega_{i,t}$	0.2	0.1	1	0.05

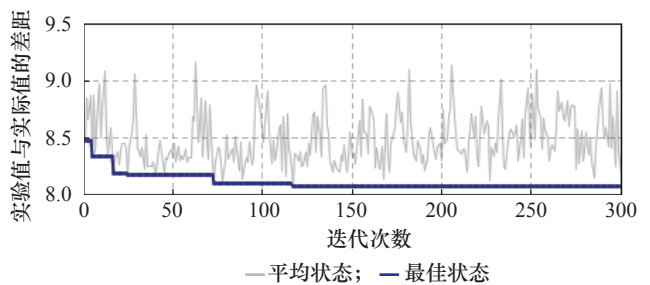


图 5 校准实验运行界面

### （三）提高治愈率仿真实验

整体来看，社区卫生服务中心治愈率的提高能够有效降低系统总成本，这主要是因为治愈率的提高降低了患者因重复治疗产生的治疗成本。需要注意的是，当社区卫生服务中心对患者的治愈率由47%提高到57%时，人均治疗总成本下降较快，随后呈缓慢下降趋势，如图8所示。

### （四）提高转诊率仿真实验

设置转诊率在5%~95%。如图9所示，每一条线代表一个转诊率下人均治疗总成本随时间的变化情况。可以看出随着转诊率的提高成本上升，特

别是当转诊率升至80%以后，系统呈现不稳定的状态，随着时间变化成本飙升，如图10所示。说明社区服务资源过早出现瓶颈，如床位不足，导致了系统整体成本的增加。

## 五、结语

由以上仿真实验可得：应当适当提高基层医疗服务机构的报销比例，当基层医疗卫生机构比例提高至83%时，系统达到最优状态；应当提高基层医疗机构的质量，由于在不同的质量水平下，系统成本的降低水平也不一样，因此需要考虑用于提高质量的投入和产出效果间的关系，合理投入。就本案例仿真结果，单独提高转诊率并不能有效降低成本，说明住院转诊的瓶颈在于社区医疗资源无法跟进，提高转诊率的同时应加强基层的医疗服务能力。经过以上的分析研究，我们提出一些针对解决区域性医疗集团困境的政策建议如下。

（1）优化区域医疗集团组织架构设计和资源配置。当前分级诊疗制度已经成为医疗改革的重心，区域医疗集团也应在这一制度的基础之上建立以集

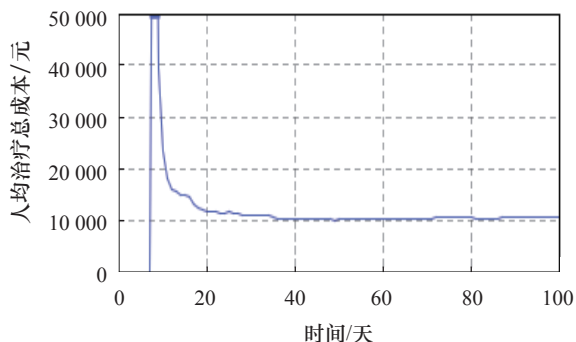


图6 人均治疗总成本变动

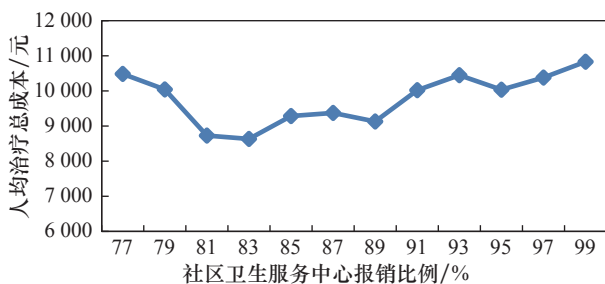


图7 报销比例对人均治疗总成本的影响

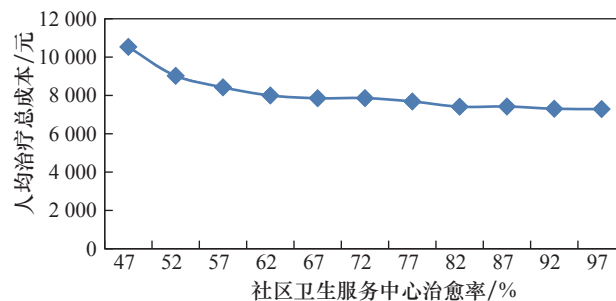


图8 提升基层治愈率对人均治疗总成本的影响

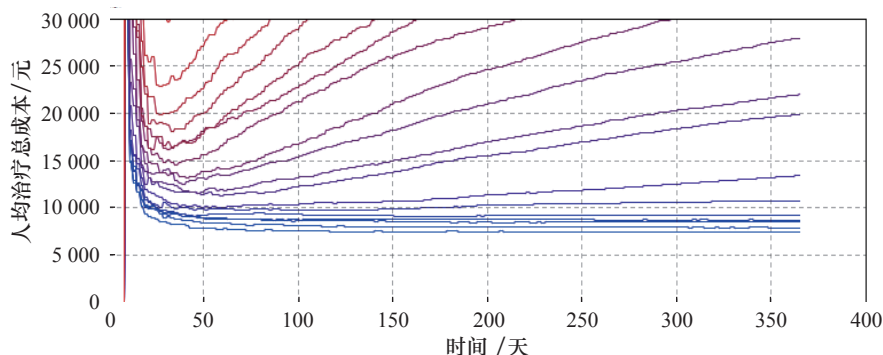


图9 不同转诊率下的人均治疗总成本变化情况（从蓝色到红色表示转诊率逐渐提高）

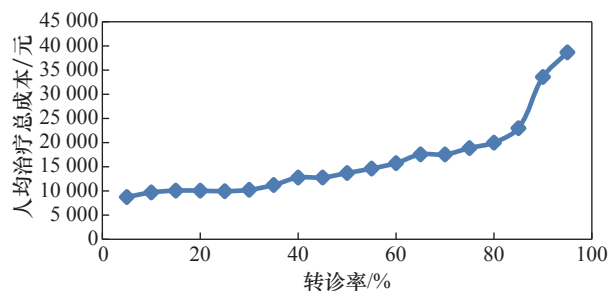


图 10 转诊率升高对人均治疗总成本的影响

团董事会为主导的多层级医疗服务系统。在集团机构选择上要根据地域和服务能力,科学规划,明确各级机构的准入和规模控制标准,实现对集团资源结构的调整和优化组合;在覆盖范围上,为避免单个医疗集团形成区域垄断,应根据区域内卫生资源数量,设立多个医疗集团,促使不同医疗集团之间竞争。在基本层级架构搭建完成的基础上,建议从规划资源总量、调整资源存量、选择资源增量方向三个方面进行区域医疗集团的资源配置。

(2) 大力培养全科医生并扶持社区卫生服务中心的发展。首先,通过设立全科医学专业,扩大招生或者定向培养来提升全科医生储备;其次,基于我国当前全科医生严重不足的现状,建议实行转岗培训与规范化培训短期并行,建立医学继续教育 and 高等学历教育相结合的多层次、多渠道的培养体系,并逐步向规范化培训过渡;再次,基层缺乏对人才的吸引力,建议从提高全科医生待遇水平和社会地位两方面着手,一方面建立财政激励机制、保障全

科医生合理收入,另一方面建立全科医生在培训、晋升方面的渠道,改善全科医生的发展环境。

#### 参考文献

- [1] Lebaron B, Arthur W B, Palmer R. Time series properties of an artificial stock market [J]. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 1997, 23(9-10): 1487-1516.
- [2] Yang Y, Atkinson P, Ettema D. Individual space-time activity-based modelling of infectious disease transmission within a city [J]. *Journal of the Royal Society Interface*, 2008, 5(24): 759-772.
- [3] 李清慧, 石磊. 基于主体建模的废物交换模型与仿真分析 [J]. *环境科学研究*, 2012, 25(11): 1297-1303.  
Li Q H, Shi L. Agent-based modeling and simulation of waste exchanging system [J]. *Research of Environment Sciences*, 2012, 25(11): 1297-1303.
- [4] 嘉定区统计局. 2015年上海市嘉定区国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL]. (2016-01-04) [2016-12-17]. <http://www.stats-sh.gov.cn/fxbg/201602/287123.html>.  
Statistics Bureau of Jiading District. Statistical communique on the national economic and social development of Jiading district, Shanghai [EB/OL]. (2016-01-04) [2016-12-17]. <http://www.stats-sh.gov.cn/fxbg/201602/287123.html>.
- [5] Ilya Grigoryev. AnyLogic 建模与仿真 [M]. 韩鹏, 韩英华, 李岩, 等译. 北京: 清华大学出版社, 2014.  
Ilya Grigoryev. AnyLogic modeling and simulation [M]. Han P, Han Y H, Li Y, et al translate. Beijing: Tsinghua University Press, 2014.
- [6] 《嘉定年鉴》编纂委员会. 嘉定年鉴 [M]. 上海: 学林出版社, 2014.  
Jiading Yearbook Editorial Committee. Jiading yearbook [M]. Shanghai: Academia Press, 2014.
- [7] 王文华, 尹爱田, 宋春燕. 山东省农村地区门诊常见病可分流病种研究 [J]. *中国卫生事业管理*, 2011, 28(1): 212-214.  
Wang W H, Yin A T, Song C Y. Studying on rural referral outpatients' common diseases in Shandong Province [J]. *Chinese Health Service Management*, 2011, 28(1): 212-214.