

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2025.05.006

医联体服务模式下医疗资源分配与协调契约^①

李忠萍¹, 王建军^{2*}

(1. 安徽大学商学院, 合肥 230601; 2. 大连理工大学经济管理学院, 大连 116023)

摘要: 基于以医联体为载体促使分级诊疗服务有效发展的情形, 研究政府与医院合作协调优质医疗资源配置的契约机制及医联体运作的影响机理。通过构建一个四阶段博弈理论排队模型, 分析患者、医联体内多家社区医院和三级医院以及政府各参与主体之间的动态决策关系, 进而给出患者就诊率、社区医院能力规划、三级医院资源下沉率及政府补贴价格与协调各家社区医院共享利益的支付价格的均衡决策。研究发现, 资源无下沉情况下, 社区医院越多, 越有利于缓解三级医院和医疗系统拥挤程度、提升患者福利; 中等社区医院数量更有利于社会福利提升。而资源下沉情况下, 社区医院越少, 越有利医联体促使资源下沉落实以及系统效能提升。社区医院服务能力成本越高, 政府主导组建的医联体内成员数量应该越少。数值实验表明, 对三级医院补偿中, 就诊社区医院患者增加率的关切度较低或较高, 更有利于政府节约补贴资金, 特别是对于紧缺补贴预算, 更有利社会福利提升。提出的协调医联体优质医疗资源有效配置的契约机制, 能为政府建立科学的分级诊疗系统提供理论决策支持, 对提升医疗服务整体效能也有较高的应用价值。

关键词: 医联体; 资源下沉; 协调契约; 排队博弈论; 运作效能

中图分类号: R197 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2025)05-0084-21

0 引言

随着我国医疗服务供需矛盾和资源分配不合理问题日益突出, 优化医疗资源配置, 引导患者有序就医已是当务之急^[1-4]。医联体建设, 即构建区域内三级医院为核心, 联合多个医院或基层社区医院的联合体, 被认定为是医疗服务供给和优化医疗资源再配置(即下沉)的重要载体, 最近备受国家和政府部门大力提倡^[5]。优质医疗资源下沉主要是指通过将三级医院资源等服务能力下沉基层社区, 使患者体验到基层社区高的医疗水平, 缩小患者对医院间服务水平感知差异性, 引导患者向基层社区分流, 提升医疗服务均等化和效率^[5]。为优化医联体内优质医疗资源使用, 国

务院办公厅及卫健委发布《关于推进医疗联合体建设和发展的指导意见》(国办发[2017]32号)和《医疗联合体管理办法(试行)》(国卫医发[2020]13号), 指出一些城市政府部门要积极组建医联体、协作医联体内三级医院优质医疗资源下沉, 优化医疗资源配置结构、提升医院运作效率, 落实“健康中国2030”战略, 实现我国分级诊疗制度目标。

在国家政策指导下, 北京、上海、广东等省市已开始推动优质医疗资源下沉, 积极探索医联体建设模式。截止2020年6月我国所有三级医院都参与医联体建设, 成立城市医疗集团1408个、县域医共体3346个^[6]。例如, 自2016年以来, 四

① 收稿日期: 2021-03-24; 修订日期: 2023-07-20。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(72101001); 教育部人文社会科学基金资助项目(21YJC630070); 安徽省科技创新战略与软科学研究专项资助项目(202206f01050037)。

通讯作者: 王建军(1977—), 男, 河北保定人, 博士, 教授, 博士生导师。Email: drwangjj@dlut.edu.cn

川华西医院联合区域内多家基层医院成立紧密型医联体,积极推动医联体内华西医院技术、专家等优质医疗资源下沉,使县域内医疗就诊率超过90%,且多数常见病等患者均可在县域内诊疗^[7]。尽管已有学者关注医联体模式下优质医疗资源配置与协调的决策模型研究,但依然不能满足我国分级诊疗发展要求,推动医联体内优质医疗资源下沉仍面临巨大阻力。首先,实际中,三级医院经济利益损失是推行受阻主要原因,实践界和学术界专家均指出,建立医院间的利益分配或三级医院补偿机制,是解决优质医疗资源再配置动力不足难题的主要途径。由表1可知政府工作报告多次指出要发展的县域医共体和城市医疗集团医联体模式,都属于政府组建的医联体类型。该类型医联体往往由当地政府部门统一管理、实现利益一体化,即一些省级/市级/县级政府部门主导、统筹当地省级/市级/县级三级医院牵头组建医联体,引导医院间形成以共赢为基础的利益共享机制,完善政府主导医联体内优质医疗资源下沉的补偿机制。实践中,政府补偿方式较常见,如深圳罗湖医疗集团,为实现优质医疗资源下沉,政府对去基层坐诊的医生提供补助。随着近年来优质医疗资源供给跟不上需求增长的速度,国家补助又不足以支撑医联体持续发展,医疗部门强调要激励医院间共享利益。如,中部地区某省地级市政府主导的市三甲医院与多家县医院组建医疗联合体,实施优质医疗资源下沉政策。为鼓励市三甲医院专家到县医院坐诊、带动县医院运营,市政府与市-县医院签订协议,指出“市三甲医院下沉院内专家,不仅可获得政府的补贴1500万/3年,还可获得县医院的净收益增长率的20%支付费用”。因此,政府组建型医联体运作中,对于有限预算,不仅要建立政府对优质医疗资源下沉方的三级医院或坐诊医生补偿的激励机制,还要建立政府协调优质医疗资源接收方的社区医院共享利益的支付机制,即后者相当于医联体管理者对社区医院抽取一定费用,补偿三级医院收益损失。其次,考虑医联体内三级医院与社区医院共同服务患者,三级医院与社区医院间

及社区医院间不仅竞争患者,而且社区医院间还竞争资源下沉量。鉴于现实中存在社区医院竞争的现象,为使研究更加贴近实际问题,理论研究还需考虑社区医院竞争情景。给定患者/优质医疗资源量,医联体内社区医院越多,单位时间平均选择各家社区医院治疗的患者/三级医院下沉每家社区资源越少,社区医院竞争患者/资源越激烈。社区医院竞争力强弱又取决于社区医院数量,如何选择社区医院规模,也是医联体有效运作,推行优质医疗资源下沉面临的挑战。运作策略上,作为医联体主导者的政府,如何基于有限预算补贴三级医院下沉优质医疗资源和协调社区医院共享利益,以及基层社区医院数量如何影响优质医疗资源下沉运作效能,已成为政府、医学界和学术界共同关注与研究热点和难点问题。该议题研究不仅对提高社区服务能力、推动医疗均等化,提升社会福利、降低患者等待时间有重要现实意义,对推动医联体运作中优质医疗资源分配问题研究也有重要理论参考价值。

鉴于此,本研究拟以组建型医联体模式为研究对象,构建优质医疗资源下沉情景下参与主体间的动态博弈排队模型,设计政府(基于优质医疗资源下沉量与社区患者访问率增加量)补偿三级医院的机制及协调医院间共享利益的机制,分析社区医院间竞争对提升医联体内优质医疗资源下沉运作效率的影响机理。通过分析参与主体的均衡决策(包括补贴价格、支付价格、能力下沉率与患者访问率),可发现仅对低等或中等规模社区医院,政府才应补偿三级医院下沉优质医疗资源,预算较充足时,存在社区医院数量阈值,当社区医院规模为低等且低于阈值,或中等且高于阈值时,政府不应协调社区医院给三级医院任何支付费用;越多社区医院将使医疗资源下沉率降低,越不利于运营绩效提升及患者等待时间降低;社区医院服务能力成本越高,政府应组建成员最大容纳量越少的医联体;三级医院下沉资源进行补偿中,中等程度的就诊社区患者增加率的关切度,更有利于政府节约补贴资金及社会福利提升。

表 1 不同类型医联体模式

Table 1 Different types of hospital association models

主要形式	紧密型医联体	混合/半紧密型医联体	松散型医联体
典型形式	县域医疗共同体	城市医疗集团	跨区域专科联盟、远程医疗协作网
实践案例	安徽天长县	深圳罗湖医疗集团	北京儿童医院儿科联盟、中日友好医院远程医疗网络
管理模式	地区政府部门统筹成立管理委员会、统一管理	市政府部门统筹成立管理委员会、统一管理	各单位独立管理
建立类型	政府组建		医院自建

资料来源：国家卫健委(http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-07/18/content_5528009.htm).

1 文献综述

近年来,医疗服务运作研究受到服务运作管理、工业工程和管理科学等领域学者越来越多的关注,有较丰富的理论框架和研究基础,与本研究成果相关的主要涉及以下3个方面^[8-12].

1) 医疗资源分配研究. 基于医疗资源是在医院间或提供者内部分配,还是在它们之间转移,医疗资源分配分为如下两种类型:医疗资源增量分配与再分配. 在医疗资源增量分配研究方面, Song 等^[13]研究医院能力集成问题以提高医院资源利用率; Carew 等^[14]基于马尔可夫决策过程,采用基于仿真的动态规划方法,获得能力分配决策; Oh 和 Su^[15]考虑预订和预约间的能力分配,发现市场规模较大情况,应为预订客户分配较低能力; Deo 等^[16]研究发现能力分配可改善社区医疗慢性病健康状况. 在医疗资源再分配研究方面, Zeng 等^[17]研究了排队系统中各独立运营商间的服务能力; Liu 等^[18]研究了顾客在提供者间分配时的服务能力共享问题; 林凯程和张永^[19]、孙杨等^[20]通过分析我国医联体优质医疗资源下沉的模式与现状,发现医院竞争及利益冲突等导致下沉实施效果不佳. 本研究的优质医疗资源分配策略也属于医疗资源再配置范畴. 而现实情景中我国优质医疗资源下沉主要目的是提升社区服务能力与诊疗水平,更好引导患者向基层分流. 尽管上述研究^[19, 20]已采用实证调研方法,探讨优质医疗服务能力纵向流动现状及实施困难,但未涉

及需求方、提供方和资助方参与主体的理论模型. 因此探讨主体间如何决策,促使我国优质医疗资源下沉,缓解医院间供需不匹配问题,显得尤为迫切和重要. 为使研究更加丰富,本研究使用序贯博弈论模拟参与主体间的动态决策关系、采用排队论刻画提供者的排队系统,进而构建优化模型,研究医联体优质医疗资源下沉策略.

2) 医疗系统协调机制研究. 医疗系统协调机制包括:医院间的协调和政府的协调. 对于医院间的协调,利益共享机制或成本分担机制,在供应链管理领域已有大量研究. 由于不涉及延时敏感性患者择医行为时,协医院间的利益与协调供应链成员间的利益情况较类似,近年来学者开始研究医院间利益共享问题^[21, 22]. Wang 等^[21]结合中国分级诊疗情况,针对患者由大型综合医院向基层社区转诊,研究社区医院对综合医院支付费用,给出参与主体共赢条件. 对于政府协调,学者结合医改政策,研究医疗费用承担者及政策制定者对提供者或需求者激励与补偿的机制^[8, 23]. 例如, Zhou 等^[24]研究中国政府对新农合医院补偿问题. 李忠萍和王建军^[25]研究政府协调转诊的支付机制及运营绩效. Qian 等^[26]评估政府对患者补贴对医疗成本及服务可及性作用. 上述成果^[21-26]主要研究一家医院或管理者如何设计契约机制协调医疗运作,较少考虑竞争的医院合作协调医疗系统问题. 虽 Wang 等^[21]与李忠萍和王建军^[25]采用博弈论与排队论集成方法,构建动态决策模型,研究医院间的协调. 然而,上述文献^[21]与文献^[25]都主要针对一家三级医院和

一家社区医院的系统,研究社区医院支付给三级医院价格对三级医院转诊患者影响.近年来我国政府强调组建由三级医院为核心联合多家社区医院的医疗联合体,完善医院间的利益共享机制及政府补偿机制,实施优质医疗资源下沉,优化我国医疗资源供需匹配.实践中,政府作为医联体运作主导者及管理者,不仅需补贴优质医疗资源释放者的三级医院,还需对资源接收者的社区医院共享利益或提供支付费用进行引导.因此本研究基于政府提供补贴和社区医院共享利益的两种契约机制相结合的视角,研究政府如何协调医联体内优质医疗资源下沉及优化医疗服务运作效益.

3) 医联体服务运作研究. Gao^[27] 等在供应链系统利益共享协调机制基础上,研究了一家三级医院与一家社区医院构成的医联体,分析三级医院对社区医院服务能力分配决策的影响.与本研究类似,但本研究医联体涉及的社区医院包含多家,且考虑作为第三方管理者政府关于优质医疗资源下沉的协调或社区医院竞争的影响机理.王海燕等^[28]针对由三级医院管制的信息共享平台运营商和社区医院组成的医联体,设计医院对信息共享平台运营商付费方式,探讨医联体持续运作问题.孙淑慧和苏强^[29]考虑医联体环境下患者受情绪控制的影响,建立医联体内政府、医疗系统、患者三方主体间的演化博弈模型,探讨了医疗系统参与分级诊疗体系的意愿. Li 等^[30]针对一家综合医院和多家社区医院构成的医联体,采用仿真优化方法研究医联体内患者转诊协调问题.本研究也考虑医联体运作,但存在以下区别.现有医联体研究大多通过演化博弈模型分析医院或患者参与医联体的意愿,或使用优化技术构建模型,通过仿真算法进行求解分析医联体系统内患者转诊;本研究则针对三级医院下沉优质医疗资源至多家社区医院问题,基于排队论的博弈决策模型,研究医院和患者的协调,实现医联体运作优化.与以往研究不同,本研究考虑的医联体持续运作问题不仅涉及医联体内部成员间的利益共享协调方面,还涉及医联体内部优质医疗资源

的优化配置方面.同时,鉴于医院间竞争是影响医联体稳定运作的重要因素之一,还考虑了如何选择医联体成员数量.因此本研究与现有研究互为补充,可为医联体服务运作研究提供新视角.

综上所述,本研究基于医联体服务模式,通过构建包括管理者、提供者及需求者的博弈理论排队决策模型,评估协调优质医疗资源下沉的政府与医院合作契约机制的运行效率及社区医院间的竞争关于医联体运作的影响机理.期望为优化我国优质医疗资源配置策略与医联体服务运作提供理论依据和创新政策参考.

2 模型描述与假设

针对涉及诊疗平台与政府组建型医联体的医疗系统,考虑单位时间到达的患者总量服从参数为 λ 泊松分布^[31, 32].患者经诊疗平台(如,在线医生及家庭医生等)诊断,获取病情信息.该假设与中国、美国、欧洲、日本等国家和地区实际情况也较为符合.例如,统计显示,71%欧洲居民及23.8%接受调查日本居民通过互联网方式获取健康信息;近年来我国医改部门也大力提倡家庭医生签约:做百姓家门口健康“守门人”^[33, 34].与 Shumsky 和 Pinker^[35]一致,假设患者病情严重程度服从 $[0, 1]$ 上均匀分布.如图1所示,诊疗后,当患者病情较重且高于/等于或低于阈值 φ ($\in (0, 1)$),患者诊断为 S/M - 类型,即 M/S - 类型患者为 $\lambda_M (= \varphi\lambda) / \lambda_S (= (1 - \varphi)\lambda)$ ^[36].

患者诊断后将进入治疗阶段,每家医院基于先到先服务(FCFS)规则治疗患者.对于能力无下沉情况,考虑三级医院与第 i ($i = 1, 2, \dots, n$) 家社区医院对患者治疗时间分别服从参数为 μ_1 与 μ_{2i} 指数分布.对于能力下沉情况,考虑三级医院下沉至第 i 家社区医院服务能力比率为 x_i ,即下沉 $\sum_{i=1}^n x_i \mu_1$ 服务能力,预留 $\left(1 - \sum_{i=1}^n x_i\right) \mu_1$ 服务能力.每家医院基于 $M/M/1$ 排队服务患者^[22, 37-39].治疗阶段,每位理性患者基于医院排队系统稳定状态下所获得效益最大化选择一家医院^[32, 40].患

者效益由服务价值(即医疗感知价值)、支付价格及等待时间组成^[41-43]. 社区医院对 M - 类型患者服务水平 (v) 低于三级医院对 M - 类型患者的 (αv) , 三级医院对 M - 类型患者服务水平远低于对 S - 类型患者的 ($\alpha_s v$) , 即 $\alpha_s v > \alpha v > v$ ^[24]. 据新闻报道, 当三级医院下沉第 i 家社区医院 x_i 的能力, M - 类型患者对第 i 家社区医院服务感知价值 $\beta(x_i)v$ 更高且不低于能力无下沉时的 v , 但不高于三级医院的 αv , 即 $1 \leq \beta(x_i) \leq \alpha$. 为便于分析, 考虑 $\beta(x_i)$ 是 x_i 的线性函数, 即 $\beta(x_i) = 1 + x_i(\alpha - 1)$ ^[44]. 获得较高服务价值需支付较高治疗价格, 设 S - 类型患者治疗价格 (p_s) 不低于 M - 类型 (p_1), 三级医院收取 M - 类型患者价格高于社区医院 (p_2), 即 $p_s > p_1 > p_2$. 设三级医院对 S - 类型患者服务价值与收取治疗价格之差远高于对 M - 类型患者的, 即 $(\alpha_s - \alpha)v > p_s - p_1$.

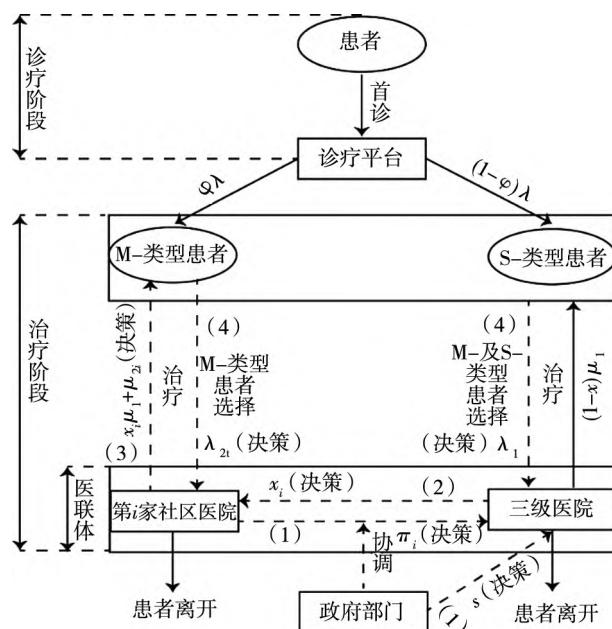


图 1 医联体内各参与主体之间的决策过程

Fig. 1 The decision-making process among the participants in the hospital association

患者就医选择策略下,医院竞争 $M -$ 型患者. 为更好分析基层社区数量影响, 考虑所有社区医院是同质的及市场患者是全覆盖的, 三级医院下沉各社区医院能力是相同的, 且各社区医院服务相同数量患者, 即 n 家社区医院进行同质竞争^[45, 46]. 单位时间选择三级医院与第 i 家社区医

院患者分别服从参数为 λ_1 与 λ_{2i} 泊松分布, 各家社区医院患者总量为 λ_2 , $\lambda_1 \geq \lambda_s$ 且 $\lambda_2 = n\lambda_{2i}$ 及 $x = nx_i$. 考虑三级医院对患者有相同的服务规则及服务时间, 单位时间患者等待成本为 $d^{[21]}$. 给定 x , 三级医院与第 i 家社区医院治疗的患者平均等待时间成本分别为

$$dW(\lambda_1, (1-x)\mu_1) = d/[(1-x)\mu_1 - \lambda_1],$$

$$dW(\lambda_{\gamma_i}, x\mu_1 + \mu_{\gamma_i}) = d/(x\mu_1 + \mu_{\gamma_i} - \lambda_{\gamma_i}).$$

考虑医联体的参与主体间的动态决策关系满足：首先，政府不仅需补偿核心三级医院下沉优质服务能力所招致的损失，还需协调各家社区医院共享给三级医院利益。鉴于我国医疗预算限制，根据 Guo 等^[40]、Hua 等^[22] 和陈妍等^[47] 研究，考虑补贴费用为 B 。即政府作为医联体第一决策者，一方面，在预算 B 约束下，确定对三级医院下沉服务能力补贴价格 s ；另一方面，政府确定在第 i 家社区医院接受三级医院能力时提供给三级医院支付价格 π_i ，实现社会福利最大化。考虑优质医疗资源下沉时，1) 下沉服务能力归三级医院所有，需基于服务能力下沉量补偿三级医院；2) 基层社区优质医疗资源增加，吸引更多患者，导致三级医院患者访问量减少，还需基于社区医院患者增加量补偿三级医院。鉴于此，考虑政府基于三级医院能力下沉量与社区医院患者增加量的权重之和补贴或支付给三级医院，其中 $\tau (\in [0, 1])$ 表示社区医院患者增加量所占权重。服从 Li 等^[48]， $\tau = 0/1$ 表示政府基于服务能力下沉量/社区医院患者增加量补偿三级医院。其次，三级医院确定下沉第 i 家社区医院服务能力比率 x_i ，实现利润最大化。考虑到社区医院同质性及其同时决策，三级医院下沉各社区服务能力比率相同。再次，鉴于社区能力成本较低，我国政府医改部门鼓励其能力扩张，考虑每家社区医院决策服务能力竞争患者，记第 i 家社区医院作为第三决策者，确定服务能力 μ_{2i} ，实现利润最大化。最后，患者基于效益最大化进行择医。医联体内参与主体的决策过程服从四阶段序贯博奕决策模型。

第一阶段:政府在预算 B 约束下,确定补贴三级医院的价格 s 与第 i 家社区医院支付给三级

医院价格 π_i , 实现社会福利最大化.

第二阶段:三级医院确定下沉第 i 家社区医院的服务能力比率 x_i , 实现运营利润最大化.

第三阶段: n 家社区医院同时决策, 即第 i 家

社区医院规划能力 μ_{2i} , 实现运营利润最大化.

第四阶段:患者基于效益最大化选择一家医院治疗, 确定各家医院患者到达率 λ_1 与 λ_{2i} .

相关参数的说明如表 2 所示.

表 2 参数符号说明

Table 2 Parameter symbol summary

参数符号	符号含义	参数符号	符号含义
n	医联体内社区医院数量	下标 1 与 $2i$	分别指三级医院与第 i 家社区医院
λ / λ_1	医联体内/三级医院单位时间患者到达率	$\varphi (\in (0,1))$	医联体内单位时间到达患者中 M - 类型患者所占比率
λ_2	各家社区医院单位时间总患者到达率	λ_{2i}	第 i 家社区医院单位时间患者到达率
μ_{2i}	第 i 家社区医院单位时间服务率	x	三级医院单位时间下沉至各家社区医院服务能力总比率
μ_1	服务能力无下沉情况下三级医院单位时间服务率	x_i	三级医院单位时间下沉至第 i 家社区医院服务能力比率
α / α_s	三级医院对 M/S - 类型患者服务价值较社区医院的比率	v	各家社区医院对患者服务价值
p_1 / p_s	三级医院每位 M/S - 类型患者治疗价格	π_i	第 i 家社区医院与三级医院共享的利益
p_2	社区医院每位患者治疗价格	c_1	三级医院单位服务能力成本
c_2	社区医院单位服务能力成本	B	政府补贴预算上限
d	医联体内单位时间患者等待成本	U_1 / U_s	三级医院每位 M - /S - 类型患者期望效益
s	政府对三级医院补贴价格	U_{2i}	第 i 家社区医院每位患者期望效益
$\tau (\in [0,1])$	社区医院每增加单位患者所占权重, $1 - \tau$ 为三级医院每下沉单位服务能力所占权重	Π_{2i}	第 i 家社区医院运营利润
Π_1	三级医院运营利润	P/S	医联体的患者福利/社会福利

为与实践一致且便于分析, 给出如下假设.

假设 1 $1 \leq n < [\bar{N}^0]$, $\bar{N}^0 \triangleq (1 - \delta)^{-1}$, 其中

$\delta = (p_1 - p_2) / [(\alpha - 1)v]$, $[\bar{N}^0]$ 表示 \bar{N}^0 取整.

假设 1 表明社区医院数量有限, 低于一个上限. 与实际情况一致, 单位时间系统患者流有限, 太多社区医院, 造成很大成本负担, 不利于运作.

假设 2 $\bar{\mu}_1 > \mu_1 > \mu_1$, 其中

$\mu_1 = \lambda_s + d / (\alpha_s v - p_s)$, $\bar{\mu}_1 = \mu_1 / [1 - n(1 - \delta)]$.

假设 2 表明三级医院能力不低于下界, 可满足 S - 类型患者服务所需. 这符合中国实际情况: 三级医院服务能力较足够, 许多 M - 类型患者选择三级医院治疗. 由 $(\alpha_s - \alpha)v > p_s - p_1$, 可知, 若至少一位 M - 类型患者选择三级医院, 则 S - 类型患者都选择三级医院, 即服务能力下限源于能力无下沉时三级医院不仅需服务 S - 类型患者, 还需服务 M - 类型患者. 三级医院能力不超过上界, 源于服务能力有限, 三级医院平均等待

时间较社区长, 即假设三级医院下沉除服务 S - 类型患者之外的能力后, 患者等待时间高于社区医院.

考虑服务能力下沉率不超过上限, 即假设 3.

假设 3 $x^0 \triangleq 1 - \mu_1 / \mu_1 \geq x^0 \triangleq n(1 - \delta) \geq 0$.

假设 3 确保三级医院下沉资源后剩余能力至少能服务 S - 类型患者. 该假设与近年来我国分级诊疗政策内涵较为符合, 社区医院医疗水平有限, 医疗水平较高的三级医院所预留能力至少能服务疑难杂症等重症患者^[49].

3 资源再分配的合作机制

采用逆向递推法, 首先, 确定患者择医决策. 其次, 预测到患者到达率, 给定支付价格, 确定社区医院最优服务能力. 再次, 基于患者与社区医院决策, 给定补贴价格与支付价格, 确定三级医院最优能力下沉率. 最后, 基于患者与医

院决策, 探讨政府最优补贴价格及支付价格.

3.1 病人就医选择决策

给定 x_i 与 μ_{2i} , 三级医院与第 i 家社区医院治疗的 M - 类型患者期望效益分别为

$$U_1(x_i) = \alpha v - p_1 - dW(\lambda_1, (1 - nx_i)\mu_1),$$

$$U_{2i}(x_i, \mu_{2i}) = \beta(x_i)v - p_2 - dW(\lambda_{2i}, x_i\mu_1 + \mu_{2i}).$$

三级医院治疗的 S - 类型患者期望效益为

$$U_S(x_i) = \alpha_S v - p_S - dW(\lambda_1, (1 - nx_i)\mu_1).$$

若 $U_1(x_i) > U_{2i}(x_i, \mu_{2i}) > 0$, M - 类型患者选择三级医院治疗; 若 $0 < U_1(x_i) < U_{2i}(x_i, \mu_{2i})$, 患者选社区医院治疗; 若 $0 < U_1(x_i) = U_{2i}(x_i, \mu_{2i})$, 患者选择三级医院或社区医院治疗.

每家医院均衡患者到达率, 如性质 1 性质 2 所示.

性质 1 对于 $x_i = 0$, 第 i 家社区医院患者均衡到达率(记 $\lambda_{2i}^0(\mu_{2i})$)为

$$\lambda_{2i}^0(\mu_{2i}) = \begin{cases} \lambda_M/n, & \text{若 } \bar{\mu}_{2i} \leq \mu_{2i} \\ \lambda_{2i}^*(\mu_{2i}), & \text{若 } \mu_{2i} < \bar{\mu}_{2i} < \bar{\mu}_{2i} \\ 0, & \text{若 } \mu_{2i} \leq \bar{\mu}_{2i} \end{cases}$$

其中 $a_1 = 1/(\mu_1 - \lambda_S)$, $a_2 = 1/(\mu_1 - \lambda)$,

$$b = [(\alpha - 1)v - p_1 + p_2]/d, \mu_{2i} = 1/(a_2 - b),$$

$$\bar{\mu}_{2i} = (a_2 - a_1)/(na_1a_2) + 1/(a_1 - b),$$

$$\lambda_{2i}(\mu_{2i}) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(\lambda - \mu_1)/n + \mu_{2i} + (1 + 1/n)/b -}{\sqrt{[(\mu_1 - \lambda)/n + \mu_{2i}]^2 + [(1 + 1/n)/b]^2}} \right\}.$$

性质 2 给定 $x_i (> 0)$ 与 μ_{2i} , 三级医院/第 i 家社区医院患者均衡到达率 $\lambda_1^*(x_i, \mu_{2i})/\lambda_{2i}^*(x_i, \mu_{2i})$.

i) 若 $\mu_{2i} \geq \mu_{2i}(\varphi\lambda + x_i)$, 则

$$\lambda_1^*(x_i, \mu_{2i}) = \lambda_S \text{ 与 } \lambda_{2i}^*(x_i, \mu_{2i}) = \lambda_M/n;$$

ii) 若 $\mu_{2i}(0 + x_i) < \mu_{2i} < \mu_{2i}(\varphi\lambda + x_i)$, 则

$$\lambda_1^*(x_i, \mu_{2i}) = \lambda - n\lambda_{2i}^*(x_i, \mu_{2i}) \text{ 与}$$

$$\lambda_{2i}^*(x_i, \mu_{2i}) = \lambda_{2i}^*(x_i, \mu_{2i}),$$

iii) 若 $\mu_{2i} \leq \mu_{2i}(0 + x_i)$, 则

$$\lambda_1^*(x_i, \mu_{2i}) = \lambda \text{ 与 } \lambda_{2i}^*(x_i, \mu_{2i}) = 0,$$

其中 $b(x_i) = \{[\alpha - \beta(x_i)]v - p_1 + p_2\}/d$,

$$\mu_{2i}(y + x_i) = \begin{cases} y/n - x_i\mu_1 + \\ 1/\{1/[(1 - nx_i)\mu_1 - \lambda + y] - b(x_i)\} \end{cases},$$

$$\lambda_{2i}(x_i, \mu_{2i}) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\frac{\lambda - \mu_1}{n} + 2x_i\mu_1 + \mu_{2i} + \frac{1 + n}{nb(x_i)} -}{\sqrt{\frac{(\mu_1 + n\mu_{2i} - \lambda)^2}{n^2} + \frac{(1 + n)^2}{[nb(x_i)]^2}}} \right\}.$$

性质 2 展示 x_i 与 μ_{2i} 对患者均衡到达率影响, 社区患者均衡到达率随 x_i 与 μ_{2i} 增加而增加. 若 x_i 与 μ_{2i} 满足性质 2 - i), M - 类型患者全选择社区; 若 x_i 与 μ_{2i} 满足性质 2 - ii), M - 类型患者部分选择社区, 其余选三级医院; 若 x_i 与 μ_{2i} 满足性质 2 - iii), 患者都选择三级医院. 实际中, 通过服务能力下沉, 患者就医决策满足性质 2 - i) 或 ii). 若能力无下沉, 社区医院患者均衡到达率满足性质 1.

3.2 社区医院能力规划决策

给定 x_i 与 π_i , 预测 $\lambda_1^*(x_i, \mu_{2i})$ 与 $\lambda_{2i}^*(x_i, \mu_{2i})$, 第 i 家社区医院确定最优 μ_{2i} , 最大化运营利润 $\Pi_{2i}(\mu_{2i} + \pi_i, x_i)$, 其中 $\Pi_{2i}(\mu_{2i} + \pi_i, x_i)$ 包括: a) 治疗 M - 类型患者的收益 $p_2\lambda_{2i}^*(x_i, \mu_{2i})$; b) 支付三级医院费用 $\pi_i\{\tau[\lambda_{2i}^*(x_i, \mu_{2i}) - \lambda_{2i}^0(\mu_{2i})] + (1 - \tau)x_i\mu_1\}$; c) 服务能力成本 $c_2\mu_{2i}$. 第 i 家社区医院优化问题

$$\max_{\mu_{2i}} \Pi_{2i}(\mu_{2i} + \pi_i, x_i) = \begin{cases} p_2\lambda_{2i}^*(x_i, \mu_{2i}) - c_2\mu_{2i} - \\ \pi_i(1 - \tau)x_i\mu_1 - \pi_i\tau \times \\ [\lambda_{2i}^*(x_i, \mu_{2i}) - \lambda_{2i}^0(\mu_{2i})] \end{cases}$$

$$\text{s. t. } \lambda_{2i}^*(x_i, \mu_{2i}) < \mu_{2i}.$$

可得无能力下沉时社区医院服务能力决策.

性质 3 对于 $x_i = 0$, 存在 c_2 的阈值 $\tilde{C}^{1,2}$, 使社区医院均衡能力 μ_{2i}^0 与患者均衡到达率 λ_{2i}^0 .

$$\begin{cases} \mu_{2i}^0 = \bar{\mu}_{2i} \text{ 与 } \lambda_{2i}^0 = \lambda_M/n, & \text{若 } \tilde{C}^1 \geq c_2 \\ \mu_{2i}^0 = \mu_{2i}^* \text{ 与 } \lambda_{2i}^0 = \lambda_{2i}^*, & \text{若 } \tilde{C}^1 < c_2 < \tilde{C}^2, \\ \mu_{2i}^0 = 0 \text{ 与 } \lambda_{2i}^0 = 0, & \text{若 } c_2 \geq \tilde{C}^2 \end{cases}$$

$$\text{其中 } \tilde{Y} = 1 - \sqrt{\frac{c_2}{p_2 - c_2}}, \tilde{X} = \frac{\tilde{Y}(2 - \tilde{Y})}{2(1 - \tilde{Y})},$$

$$\mu_{2i}^* = \frac{n+1}{n} \times \frac{\hat{X}}{b} - \frac{1}{na_2}, \quad \lambda_{2i}^* = \frac{n+1}{2n} \times \frac{\hat{Y}}{b} - \frac{1}{na_2},$$

$$\tilde{C}^i = \frac{p_2 [(n+1)a_i - 2b]^2}{[(n+1)a_i - 2b]^2 + [(n+1)a_i]^2} \quad (i = 1, 2).$$

性质3表明能力无下沉时,社区医院是否存在市场取决于 c_2 ,若 c_2 较高且等于或高于阈值 \tilde{C}^2 ,社区医院扩张服务能力不能获得正利润,而退出市场.若 c_2 较低且等于或低于阈值 \tilde{C}^1 ,社区医院将扩张足够高能力而服务患者.

能力下沉时,均衡决策满足如下性质.

性质4 给定 $x_i (> 0)$ 与 π_i ,社区医院均衡能力 $\mu_{2i}^*(\pi_i, x_i)$ 与患者均衡到达率 $\lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i)$.

i) 对于 $\hat{C}^2 \leq c_2$,则 $\mu_{2i}^*(\pi_i, x_i) = 0$, $\lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) = 0$,

ii) 对于 $\tilde{C}^2 \leq c_2 < \hat{C}^2$,

1) 若 $\pi_i \geq \pi_i(x_i)$,则

$$\mu_{2i}^*(\pi_i, x_i) = 0, \lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) = 0;$$

2) 若 $\pi_i(x_i) > \pi_i \geq 0$,则

$$\mu_{2i}^*(\pi_i, x_i) = \mu_{2i}^*(\pi_i, x_i), \lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) =$$

$$\lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i),$$

iii) 对于 $\hat{C}^1 < c_2 < \tilde{C}^2$,

1) 若 $\pi_i \geq \pi_i(x_i)$,则

$$\mu_{2i}^*(\pi_i, x_i) = 0, \lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) = 0;$$

2) 若 $\pi_i(x_i) > \pi_i > \bar{\pi}_i(x_i)$,则

$$\lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) = \lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) < \lambda_{2i}^0;$$

3) 若 $\bar{\pi}_i(x_i) > \pi_i \geq 0$,则

$$\mu_{2i}^*(\pi_i, x_i) = \mu_{2i}^*(\pi_i, x_i), \lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) =$$

$$\lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i),$$

iv) 对于 $\tilde{C}^1 < c_2 \leq \hat{C}^1$,

1) 若 $\pi_i \geq \pi_i(x_i)$,则

$$\mu_{2i}^*(\pi_i, x_i) = 0, \lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) = 0;$$

2) 若 $\pi_i(x_i) > \pi_i > \bar{\pi}_i(x_i)$,则

$$\lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) = \lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) < \lambda_{2i}^0;$$

3) 若 $\bar{\pi}_i(x_i) \geq \pi_i \geq \hat{\pi}_i(x_i)$,则

$$\mu_{2i}^*(\pi_i, x_i) = \mu_{2i}^*(\pi_i, x_i), \lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) = \lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i);$$

4) 若 $\hat{\pi}_i(x_i) \geq \pi_i \geq 0$,则

$$\mu_{2i}^*(\pi_i, x_i) = \bar{\mu}_{2i}^*(\pi_i, x_i), \lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) = \lambda_M/n,$$

v) 对于 $0 < c_2 \leq \tilde{C}^1$,

1) 若 $\pi_i \geq \pi_i(x_i)$,则

$$\mu_{2i}^*(\pi_i, x_i) = 0, \lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) = 0;$$

2) 若 $\pi_i(x_i) > \pi_i > \hat{\pi}_i(x_i)$,则

$$\lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) = \lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) < \lambda_{2i}^0;$$

3) 若 $\hat{\pi}_i(x_i) \geq \pi_i \geq 0$,则

$$\mu_{2i}^*(\pi_i, x_i) = \bar{\mu}_{2i}^*(\pi_i, x_i), \lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) = \lambda_M/n,$$

其中

$$Y(\pi_i) = 1 - \sqrt{\frac{c_2}{p_2 - \pi_i \tau - c_2}}, \quad X(\pi_i) = \frac{1 - Y(\pi_i)/2}{1/Y(\pi_i) - 1},$$

$$\lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) = \frac{n+1}{2n} \times \frac{Y(\pi_i)}{b(x_i)} - \frac{1}{na_2(x_i)},$$

$$\hat{C}^i = \frac{p_2 [(n+1)\hat{a}_i - 2\hat{b}]^2}{[(n+1)\hat{a}_i - 2\hat{b}]^2 + [(n+1)\hat{a}_i]^2} \quad (i = 1, 2),$$

$$a_1(x_i) = 1/(1 - nx_i)\mu_1 - \lambda_s,$$

$$a_2(x_i) = 1/(1 - nx_i)\mu_1 - \lambda,$$

$$\hat{a}_1 = a_1(x^0/n), \quad \hat{a}_2 = a_2(x^0/n), \quad \hat{b} = b(x^0/n),$$

$$\mu_{2i}^*(\pi_i, x_i) = \frac{n+1}{n} \times \frac{X(\pi_i)}{b(x_i)} - \frac{1}{na_2},$$

$$\bar{\mu}_{2i}^*(\pi_i, x_i) = \frac{a_2 - a_1(x_i)}{na_1(x_i)a_2} + \frac{1}{a_1(x_i) - b(x_i)},$$

$$\pi_i(x_i) = \frac{p_2}{\tau} - \frac{c_2}{\tau} - \frac{c_2}{\tau} \left[1 - \frac{2}{n+1} \times \frac{b(x_i)}{a_2(x_i)} \right]^{-2},$$

$$\hat{\pi}_i(x_i) = \frac{p_2}{\tau} - \frac{c_2}{\tau} - \frac{c_2}{\tau} \left\{ 1 - \frac{2b(x_i)}{n+1} \left[\lambda_M + \frac{1}{a_2(x_i)} \right] \right\}^{-2},$$

$$x = \frac{1}{n} \left\{ 1 - \frac{\lambda_s}{\mu_1} - \frac{\lambda_M}{\mu_1} \left[1 - \frac{(n+1)Y(\pi_i)}{2} \right]^{-1} \right\},$$

$$\bar{\pi}_i(x_i) = \frac{p_2 - c_2}{\tau} - \frac{c_2}{\tau} \left\{ \frac{1 - \tilde{Y}b(x_i)/b}{2b(x_i)[a_2 - a_2(x_i)]} \right\}^{-2} \quad (n+1)a_2(x_i)a_2$$

性质 4 给出 x_i 和 π_i 对社区医院服务能力影响. 对于 $\tilde{C}^1 < c_2 < \tilde{C}^2$, 第 i 家社区医院能力随 x_i 增加而增加, 随 π_i 增加而减少. 这是由于 x_i 越高, 患者对社区医疗服务感知水平越高, 而社区医院扩张服务能力导致患者访问率的增加所引发的收益高于招致成本, 因此社区医院扩张的能力随三级医院能力下沉率增加而增加. 当支付价格越高, 社区医院获得利润越低, π_i 越高, 社区医院扩张越低能力以减少利润损失. 由于患者基于效益最大化择医, 医院能力增加导致患者访问率增加, 因此社区医院患者到达率随能力下沉率 x_i 增加而增加, 随 π_i 增加而减少. 当 π_i 较高且高于阈值 $\bar{\pi}_i(x_i)$ (若存在), 对于较高的 π_i , 能力下沉反而降低社区医院患者访问率, 即能力下沉时社区医院患者访问率比能力无下沉时的低, 尤其 π_i 充分高且高于阈值 $\bar{\pi}_i(x_i)$, 社区医院扩张较低服务能力不足以吸引患者, 对应图 2 区域(a)与(b). 若 π_i 低于阈值 $\bar{\pi}_i(x_i)$, 三级医院能力下沉总提高社区患者到达率; 存在 c_2 的阈值 \hat{C}^1 , 对于 $\tilde{C}^1 < c_2 \leq \hat{C}^1$, 当 π_i 较低且不高于阈值 $\hat{\pi}_i(x_i)$, 社区医院扩张足够高能力, 使 M - 类型患者均选择社区, 社区医院制定能力恰好服务全部 M - 类型患者, 能力下沉越高, 社区本身需扩张能力越低, 对应图 2 区域(c)和区域(d). 对于 $0 < c_2 \leq \tilde{C}^1$, 若 π_i 高于阈值 $\hat{\pi}_i(x_i)$, 较高支付价格使资源下沉时社区医院扩张服务能力不足以吸引全部 M - 类型患者. 基于性质 3, $\pi_i > \hat{\pi}_i(x_i)$ 时, 资源下沉使社区医院患者访问率降低; 当支付价格不超过 $\hat{\pi}_i(x_i)$ 时, 资源下沉使社区医院患者访问率保持不变, 对应图 2 区域(d). 对于 $\tilde{C}^2 \leq c_2 < \hat{C}^2$, 仅当 π_i 低于阈值 $\bar{\pi}_i(x_i)$, 资源下沉才可同时引发患者愿意访问社区且社区扩张能力能接的住患者. 然而, c_2 高于或等于阈值 \hat{C}^2 时, 即使三级医院用于服务全部 M - 类型患者的能力都下沉基层社区, 但充分高社区能力成本使社区医院扩张的能力总不能吸引患者访问. 鉴于实际中三级

医院与社区医院共存于市场, 因此, 接下来考虑 $c_2 < \hat{C}^2$.

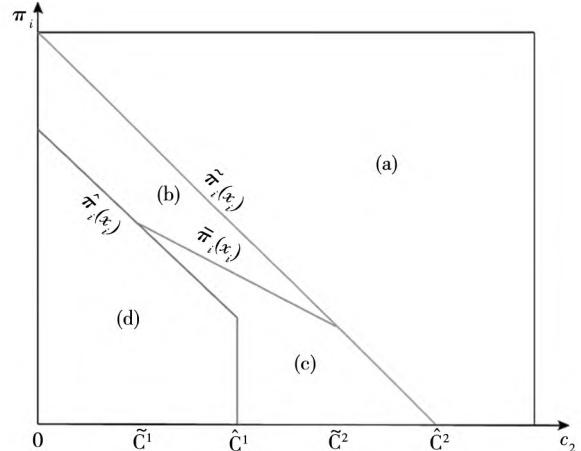


图 2 不同 c_2 与 π_i 取值下社区医院均衡能力与到达率

Fig. 2 The community hospital's equilibrium capacity and arrival rate under the different values of c_2 and π_i

3.3 三级医院医疗资源下沉率决策

给定 π_i 与 s , 预测到 $\lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i)$ 与 $\mu_{2i}^*(\pi_i, x_i)$, 三级医院确定最优能力下沉率 x_i , 实现利润 $\Pi_1(x_i + s, \pi_i)$ 最大化, 其中 $\Pi_1(x_i + s, \pi_i)$ 包括: a) 治疗患者获得收益 $p_s \lambda_s + p_1 [\lambda_1^*(\pi_i, x_i) - \lambda_s]$; b) 服务能力成本 $c_1 \mu_1$; c) 下沉能力 $n x_i \mu_1$ 获得收益

$$n(s + \pi_i) \{ \tau [\lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) - \lambda_{2i}^0] + (1 - \tau) x_i \mu_1 \}.$$

即三级医院优化问题为

$$\max_{x_i} \Pi_1(x_i + s, \pi_i) = p_s \lambda_s + p_1 [\lambda_1^*(\pi_i, x_i) - \lambda_s] - c_1 \mu_1 + n(s + \pi_i) \left\{ \tau [\lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i) - \lambda_{2i}^0] + (1 - \tau) x_i \mu_1 \right\}$$

其中三级医院服务能力满足: $\mu_1 < \mu_1 < \bar{\mu}_1$.

可得如下均衡决策.

性质 5 给定 $\pi_i (< \bar{\pi}_i)$ 与 s , 三级医院服务能力下沉率 $x_i^*(s, \pi_i)$ 、第 i 家社区医院服务能力 $\mu_{2i}^*(s, \pi_i)$ 及均衡患者到达率 $\lambda_{2i}^*(s, \pi_i)$ 为

i) 对于 $\hat{C}^2 \leq c_2$, 则

$$x_i^*(s, \pi_i) = 0, \mu_{2i}^*(s, \pi_i) = 0, \lambda_{2i}^*(s, \pi_i) = 0.$$

ii) 对于 $\tilde{C}^2 \leq c_2 < \hat{C}^2$,

1) 若 $0 \leq s \leq s(\pi_i, x)$, 则

$$x_i^*(s, \pi_i) = 0, \mu_{2i}^*(s, \pi_i) = 0, \lambda_{2i}^*(s, \pi_i) = 0;$$

2) 若 $s(\pi_i, x) < s(\pi_i, x^0/n)$, 则

$$x_i^*(s, \pi_i) = x_i^*(s, \pi_i), \mu_{2i}^*(s, \pi_i) = \mu_{2i}^*(\pi_i,$$

$$x_i^*(s, \pi_i)), \lambda_{2i}^*(s, \pi_i) = \lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i^*(s, \pi_i));$$

3) 若 $s(\pi_i, x^0/n) \leq s$, 则

$$x_i^*(s, \pi_i) = x^0/n, \mu_{2i}^*(s, \pi_i) = \mu_{2i}^*(\pi_i, x^0/n),$$

$$\lambda_{2i}^*(s, \pi_i) = \lambda_{2i}^*(\pi_i, x^0/n).$$

iii) 对于 $\hat{C}^1 < c_2 < \tilde{C}^1$, 或 $0 < c_2 \leq \hat{C}^1$ 且 $\pi_i \geq \hat{\pi}_i$

1) 若 $0 \leq s \leq s(\pi_i, 0)$, 则

$$x_i^*(s, \pi_i) = 0, \mu_{2i}^*(s, \pi_i) = \mu_{2i}^*, \lambda_{2i}^*(s, \pi_i) = \lambda_{2i}^*;$$

2) 若 $s(\pi_i, 0) < s < s(\pi_i, x^0/n)$, 则

$$x_i^*(s, \pi_i) = x_i^*(s, \pi_i), \mu_{2i}^*(s, \pi_i) = \mu_{2i}^*(\pi_i,$$

$$x_i^*(s, \pi_i)), \lambda_{2i}^*(s, \pi_i) = \lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i^*(s, \pi_i));$$

$$\lambda_{2i}^*(s, \pi_i) = \lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i^*(s, \pi_i));$$

3) 若 $s \geq s(\pi_i, x^0/n)$, 则

$$x_i^*(s, \pi_i) = x^0/n, \mu_{2i}^*(s, \pi_i) = \mu_{2i}^*(\pi_i, x^0/n),$$

$$\lambda_{2i}^*(s, \pi_i) = \lambda_{2i}^*(\pi_i, x^0/n).$$

iv) 对于 $\tilde{C}^1 < c_2 \leq \hat{C}^1$ 且 $\pi_i < \hat{\pi}_i$,

1) 若 $0 \leq s \leq s(\pi_i, 0)$, 则 $x_i^*(s, \pi_i) = 0$,

$$\mu_{2i}^*(s, \pi_i) = \mu_{2i}^*, \lambda_{2i}^*(s, \pi_i) = \lambda_{2i}^*;$$

2) 若 $s(\pi_i, 0) < s < s(\pi_i, \bar{x})$, 则

$$x_i^*(s, \pi_i) = x_i^*(s, \pi_i), \mu_{2i}^*(s, \pi_i) = \mu_{2i}^*(\pi_i,$$

$$x_i^*(s, \pi_i)), \lambda_{2i}^*(s, \pi_i) = \lambda_{2i}^*(\pi_i, x_i^*(s, \pi_i));$$

3) 若 $s = s(\pi_i, \bar{x})$, 则 $x_i^*(s, \pi_i) = \bar{x}$,

$$\mu_{2i}^*(s, \pi_i) = \mu_{2i}^*(\pi_i, \bar{x}), \lambda_{2i}^*(s, \pi_i) = \lambda_M/n;$$

4) 若 $s > s(\pi_i, \bar{x})$, 则 $x_i^*(s, \pi_i) = x^0/n$,

$$\mu_{2i}^*(s, \pi_i) = \bar{\mu}_{2i}^*(\pi_i, x^0/n), \lambda_{2i}^*(s, \pi_i) = \lambda_M/n.$$

v) 对于 $c_2 \leq \tilde{C}^1$ 且 $\pi_i < \hat{\pi}_i$, 则 $x_i^*(s, \pi_i) = x^0/n$,

$$\mu_{2i}^*(s, \pi_i) = \bar{\mu}_{2i}^*(\pi_i, x^0/n), \lambda_{2i}^*(s, \pi_i) = \lambda_M/n,$$

$$\text{其中 } \pi_i = \frac{p_2 - c_2}{\tau} - \frac{c_2}{\tau \{1 - 2\hat{b}/[(n+1)\hat{a}_2]\}^2},$$

$$\hat{\pi}_i = \frac{p_2}{\tau} - \frac{c_2}{\tau} \left\{ 1 + \left\{ 1 - \frac{2\hat{B}}{n+1} \left(\lambda_M + \frac{1}{\hat{a}_2} \right) \right\}^{-2} \right\},$$

$$x_i^*(s, \pi_i) = 1 - \delta - \sqrt{\frac{dY(\pi_i)(1+n)}{2n(\alpha-1)\nu\mu_1} \times \frac{p_1 - \tau(s + \pi_i)}{s + \pi_i - p_1}},$$

$$\bar{x} = \frac{1 + 1/(na_1\mu_1)}{2} - \frac{\delta}{2} -$$

$$\sqrt{\frac{[1 - 1/(na_1\mu_1) - \delta]^2}{4} + \frac{d(1+n)Y(\pi_i)}{2n(\alpha-1)\nu\mu_1}},$$

$$s(\pi_i, x) = \frac{p_1}{\tau} - \pi_i - \frac{(1-\tau)p_1}{\tau} \times$$

$$\left[\frac{\tau(n+1)Y(\pi_i)(\alpha-1)\nu}{2n[b(x)]^2 d\mu_1} + 1 \right]^{-1}.$$

性质5表明较高的补贴价格 s 可提高三级医

院能力下沉率. 以 $\hat{C}^1 < c_2 < \tilde{C}^1$ 为例, 对于 $\pi_i < \hat{\pi}_i$, 若 s 较低且不高于阈值 $s(\pi_i, 0)$, 则能力下沉降低利润, 即能力不被下沉, 如性质5-iii)-1所示. 而若 $s > s(\pi_i, x^0/n)$, 足够高的补贴价格, 能力下沉将提升利润, 因此三级医院将下沉除服务S-类型患者之外全部能力, 如性质5-iii)-3所示. 若 $s(\pi_i, 0) < s < s(\pi_i, x^0/n)$, 存在唯一均衡服务能力下沉率, 使三级医院利润达最大化,

如性质5-iii)-2所示. 对于 $\tilde{C}^1 < c_2 \leq \hat{C}^1$ 或 $0 <$

$c_2 \leq \tilde{C}^1$, 若 $\pi_i \geq \hat{\pi}_i$, 较高支付价格使社区医院扩张的能力不足以接纳全部M-类型患者, 因此 s 对三级医院能力下沉率的影响与性质5-iii)类似; 然而, 若 $\pi_i < \hat{\pi}_i$, 与性质5-iii)相比: 等于或高于阈值 $s(\pi_i, \bar{x})$ 补贴价格将使三级医院能力下沉率足够高且不低于阈值 \bar{x} , 而社区医院服务能力成本及支付价格均较低时, 社区医院扩张足够高服务能力, 以至于M-类型全部选择社区.

对于 $c_2 \leq \tilde{C}^1$, 不超过阈值 $\hat{\pi}_i$ 的支付价格才可使社区扩张的能力足以服务全部M-类型患者, 此时下沉全部服务能力总不会降低三级医院利润, 全部服务能力可被下沉; 否则, 高于阈值 $\hat{\pi}_i$ 的支付价格将引发社区扩张的能力仅可服务部分M-类型患者, 服务能力下沉反而降低患者访问率. 还可发现, π_i 越高, 补贴价格阈值越低, 因为仅当三级医院下沉能力所获得收益至少不低于病源

减少所导致利益损失时, 能力才可被下沉, 而三级医院所获得收益由政府补贴与社区医院提供利益补偿组成, 意味着社区医院支付价格越高, 政府对三级医院下沉能力所补贴价格越低.

3.4 政府的补贴与协调机制

预测到 $x_i^*(s, \pi_i)$ 、 $\mu_{2i}^*(s, \pi_i)$ 及 $\lambda_{2i}^*(s, \pi_i)$, 探讨补贴价格决策 s 与协调第 i 家社区医院支付给三级医院价格决策 π_i , 预算 B 约束下, 实现社会福利 $S(s, \pi_i)$ 最大化. $S(s, \pi_i)$ 由三部分组成:

a) 患者福利 $P^*(s, \pi_i)$, 即患者累积效益之和, 即

$$\left. \begin{aligned} & \lambda_s(\alpha s - p_s) + \lambda_M(\alpha v - p_1) - \\ & d\lambda/\{[1 - nx_i^*(s, \pi_i)]\mu_1 - \lambda + n\lambda_{2i}^*(s, \pi_i)\} \end{aligned} \right\};$$

b) 医院利润和 $\Pi_1^*(s, \pi_i) + \sum_{i=1}^n \Pi_{2i}^*(s, \pi_i)$;

c) 政府补贴预算剩余 $M(s, \pi_i)$. 为便于计算, 考虑给定 $\pi_i \geq 0$, 先确定最优补贴价格 $s^*(\pi_i)$, 后确定最优支付价格 π_i^* , 即政府优化问题为

$$\max_{\pi_i \geq 0} \left\{ \max_{s \geq 0} \left\{ \begin{aligned} & S(s, \pi_i) = \underbrace{P^*(s, \pi_i)}_{\text{患者累积效益}} + \underbrace{M(s, \pi_i)}_{\text{预算剩余}} \\ & \left[\underbrace{\Pi_1^*(s, \pi_i) + \sum_{i=1}^n \Pi_{2i}^*(s, \pi_i)}_{\text{医院利润}} \right] \end{aligned} \right\} \right\}$$

$$\text{s. t. } M(s, \pi_i) = \left\{ \begin{aligned} & B - ns \{ \tau [\lambda_{2i}^*(s, \pi_i) - \lambda_{2i}^0] + \\ & (1 - \tau)x_i^*(s, \pi_i)\mu_1 \} \end{aligned} \right\} \geq 0.$$

基于性质 5, 可知

$$\begin{aligned} & \Pi_1^*(s, \pi_i) + \sum_{i=1}^n \Pi_{2i}^*(s, \pi_i) + M(s, \pi_i) = \\ & \left\{ \begin{aligned} & p_s \lambda_s + p_1 [\lambda_1^*(s, \pi_i) - \lambda_s] - c_1 \mu_1 + \\ & \left[\sum_{i=1}^n [p_2 \lambda_{2i}^*(s, \pi_i) - c_2 \mu_{2i}^*(s, \pi_i)] + B \right] \end{aligned} \right\} \end{aligned}$$

性质 6 存在社区医院数量 n 的阈值 $[N]$ 、 $[\bar{N}^2]$ 、 $[\hat{N}]$ 及 $[\bar{N}^1]$, 使各参与主体均衡决策结为:

i) 对于较充足补贴预算,

1) 若 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \bar{N}^0 > n \geq N\}$, 则 $\pi_i^* = 0$,

$$s^* \leq s, x_i^* = 0, \mu_{2i}^* = \mu_{2i}^0, \lambda_{2i}^* = \lambda_{2i}^0;$$

2) 若 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid N > n > \max\{\hat{N}, \bar{N}^2\}\}$ 且

$$B \geq \bar{B}^*, \text{ 则 } \pi_i^* = \begin{cases} 0, & \text{若 } \hat{C}^1 < c_2 < \hat{C}^2, \\ \hat{\pi}_i, & \text{若 } 0 < c_2 < \hat{C}^1, \end{cases}$$

$$s^* = \bar{s}^*, x_i^* = \bar{x}_i^* \triangleq 1 - \delta - d\bar{z}^*/[(\alpha -$$

$$1)v], \mu_{2i}^* = (1 + 1/n)\widetilde{X}/\bar{z}^* - 1/(na_2), \lambda_{2i}^* = (1 + 1/n)\widetilde{Y}/(2\bar{z}^*) - 1/[na_2(\bar{x}_i^*)];$$

3) 若 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \min\{N, \bar{N}^2\} > n > \hat{N}\}$ 且

$$B \geq B^*, \text{ 则 } \pi_i^* = \pi^*, s^* = s^*,$$

$$x_i^* = x_i^* \triangleq 1 - \delta - dz^*/[(\alpha - 1)v], \mu_{2i}^* = (1 + 1/n)(1/t^* - t^*)/(2z^*) - 1/(na_2), \lambda_{2i}^* = (1 + 1/n)(1 - t^*)/(2z^*) - 1/[na_2(x_i^*)];$$

4) 若 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \hat{N} \geq n > \bar{N}^1\}$,

(a) 对于 $0 < c_2 \leq \hat{C}^1$ 且 $B \geq \hat{B}^1$, 则

$$\pi_i^* = \theta \in [0, \hat{\pi}_i], \bar{s}^{***} > s^* \geq \hat{s}(\theta), x_i^* = x^0/n, \mu_{2i}^* = (1/\hat{a}_1 - 1/a_2)/n + 1/(\hat{a}_1 - \hat{b}), \lambda_{2i}^* = \lambda_M/n;$$

(b) 对于 $\hat{C}^1 < c_2 < \hat{C}^2$ 且 $B \geq \hat{B}^*$, 则

$$\pi_i^* = \hat{\pi}^*, \bar{s}^{***} \geq s^* \geq \hat{s}^*, x_i^* = x^0/n, \mu_{2i}^* = (1 + 1/n)(1/\hat{t}^* - \hat{t}^*)/(2\hat{b}) - 1/(na_2), \lambda_{2i}^* = (1 + 1/n)(1 - \hat{t}^*)/(2\hat{b}) - 1/(n\hat{a}_2);$$

5) 若 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \min\{\hat{N}, \bar{N}^1\} \geq n \geq 1\}$,

对于 $0 < c_2 < \hat{C}^2$ 且 $B \geq \hat{B}$, 则

$$\pi_i^* = 0, \bar{s}^{***} \geq s^* \geq \hat{s}, x_i^* = x^0/n, \mu_{2i}^* = (1 +$$

$$1/n)\widetilde{X}/(2\hat{b}) - 1/(na_2), \lambda_{2i}^* = (1/n + 1)\widetilde{Y}/(2\hat{b}) - 1/(n\hat{a}_2).$$

ii) 对于紧张补贴预算,

1 - 1) 当 $n \in \left\{ \begin{aligned} & n \in \mathbb{N}_+ \mid \min\{N, \bar{N}^0\} > \\ & n > \max\{\hat{N}, \bar{N}^2\} \end{aligned} \right\}$ 且

$$B < \bar{B}^*,$$

或1-2) 当 $n \in \left\{ \begin{array}{l} n \in \mathbb{N}_+ \mid \min\{N, \bar{N}^2\} > \\ n > \hat{N} \end{array} \right\}$ 且

$B < B^*$,

或1-3) 当 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \hat{N} \geq n > \bar{N}^1\}$ 且
 $B < \hat{B}^*$,

或1-4) 当 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \min\{\hat{N}, \bar{N}^1\} \geq n \geq 1\}$

且 $B < \begin{cases} \hat{B}, & \text{若 } \hat{C}^1 < c_2 < \hat{C}^2 \\ \hat{B}^1, & \text{若 } 0 < c_2 \leq \hat{C}^1 \end{cases}$, 则

$\pi_i^* = \hat{\pi}^*$, $s^* = \hat{s}^*$, $x_i^* = \hat{x}_i^* \triangleq 1 - \delta - d\hat{z}^*/[(\alpha - 1)v]$, $\mu_{2i}^* = (1 + 1/n)(1/\hat{t}^* - \hat{t}^*)/(2\hat{z}^*) - 1/(na_2)$, $\lambda_{2i}^* = (1 + 1/n)(1 - \hat{t}^*)/(2\hat{z}^*) - 1/[na_2(\hat{x}_i^*)]$;

2) 当 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \hat{N} \geq n > \bar{N}^1\}$

且 $0 < c_2 \leq \hat{C}^1$ 与 $\hat{B}^1 > B \geq \hat{B}^*$, 则

$\pi_i^* = \hat{\pi}^*$, $\bar{s}^{**} \geq s^* \geq \hat{s}^*$, $x_i^* = x^0/n$

$\mu_{2i}^* = (1 + 1/n)(1/\hat{t}^* - \hat{t}^*)/(2\hat{b}) - 1/(na_2)$,
 $\lambda_{2i}^* = (1 + 1/n)(1 - \hat{t}^*)/(2\hat{b}) - 1/(n\hat{a}_2)$;

3) 当 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \min\{\hat{N}, \bar{N}^1\} \geq n \geq 1\}$

且 $0 < c_2 \leq \hat{C}^1$ 与 $\hat{B} > B \geq \hat{B}^1$, 则

$\pi_i^* = \theta \in [0, \hat{\pi}_i]$, $\bar{s}^{***} > s^* \geq \hat{s}(\theta)$, $x_i^* = x^0/n$,

$\mu_{2i}^* = (1/\hat{a}_1 - 1/a_2)/n + 1/(\hat{a}_1 - \hat{b})$, $\lambda_{2i}^* = \lambda_M/n$,

其中 $\bar{t} = \begin{cases} \hat{t}, & \text{若 } \hat{C}^1 < c_2 < \hat{C}^2 \\ \hat{t}, & \text{若 } 0 < c_2 < \hat{C}^1 \end{cases}$, $\sigma = \frac{2\lambda(\alpha - 1)v}{n(n + 1)\mu_1}$,

$\hat{t} = \sqrt{\frac{c_2}{p_2 - c_2}}$, $\hat{t} = 1 - \frac{2\hat{b}}{n + 1} \left(\lambda_M + \frac{1}{\hat{a}_2} \right)$,

$t^* = \sqrt{\frac{c_2}{c_2 + p_1 - p_2} \left(\frac{\sigma}{p_1 - p_2} - 1 \right)}$,

$\hat{t}^* = \arg_i \left\{ \frac{(n + 1)(1/t - 1)}{2\hat{B}} \right\}$

$= \sqrt{\frac{d\lambda}{t^2(c_2 + p_1 - p_2) + c_2}}$,

$\xi = \frac{2\bar{t}}{1 - \bar{t}} \sqrt{\frac{(p_2 - c_2)\lambda d}{p_1}} - 1$,

$$\bar{N}^1 = \begin{cases} \arg_n \left\{ \frac{(n + 1)(1 - \hat{t})}{b - (\alpha - 1)v x^0 / (dn)} \right\}, & \text{若 } \hat{C}^1 < c_2 < \hat{C}^2 \\ \sqrt{\frac{4d\lambda}{c_2 + p_1 - p_2 + c_2/\hat{t}^2}}, & \text{若 } c_2 < \hat{C}^1 \end{cases}$$

$$\bar{N}^2 = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{2\lambda(p_2 - c_2)}{p_1 \delta \mu_1}} - \frac{1}{2}, & \text{若 } \hat{C}^1 < c_2 < \hat{C}^2 \\ \arg_n \left\{ 1 - \frac{2\hat{b}(\lambda_M + 1/\hat{a}_2)}{n + 1} \right\} = t^*, & \text{若 } 0 < c_2 < \hat{C}^1 \end{cases}$$

$$\tilde{b} = b(x) \Big|_{\pi_i^* = \pi^*}, \hat{N} = \arg_n \{z^* = \hat{b}\},$$

$$N = \begin{cases} \arg_n \{z^* = b\} & \text{若 } \hat{C}^1 < c_2 < \tilde{C}^2 \\ \arg_n \{z^* = \tilde{b}\} & \text{若 } \tilde{C}^2 \leq c_2 < \hat{C}^2 \end{cases}$$

$$z^* = \sqrt{\frac{[(n+1)(1-t^*)]^2(c_2/t^* + c_2 + p_1 - p_2)}{4\lambda d \{1 - 2\lambda(p_1 - p_2)(1 - t^*)/\sigma\}}},$$

$$y = \begin{cases} 1 - \hat{t}, & \text{若 } \hat{C}^1 < c_2 < \hat{C}^2 \\ 2(\lambda_M + 1/a_2)/(n+1), & \text{若 } 0 < c_2 < \hat{C}^1 \end{cases}$$

$$\bar{s}^{**} = B \left[\frac{\tau(n+1)}{2} \left(\frac{1 - \hat{t}^*}{\hat{b}} - \frac{y}{b} \right) + \frac{d\mu_1 n(b - \hat{b})}{(\alpha - 1)v} \right]^{-1},$$

$$\bar{s}^{***} = B \left[\frac{\tau(n+1)}{2} \left(\frac{1 - \bar{t}}{\hat{b}} - \frac{y}{b} \right) + \frac{d\mu_1 n(b - \hat{b})}{(\alpha - 1)v} \right]^{-1},$$

$$s^* = \begin{cases} \frac{(c_2 + p_1 - p_2)(t^*)^2 + c_2}{\tau(t^*)^2} - \frac{p_1(1 - \tau)}{\tau^2} \times \\ \left\{ \frac{\sigma/(1 - t^*) - p_1 + p_2}{2c_2(1/t^* + 1) + p_1 - p_2} + \frac{1}{\tau} \right\}^{-1} \end{cases},$$

$$\begin{cases} B = \left\{ \frac{2d(1 - \tau)p_1\mu_1 z^2}{\tau(1/n + 1)(1 - t) \times} \right\} \times \\ \left[(\alpha - 1)v + 2z^2 d \mu_1 \right] \\ \left\{ \frac{n + 1}{2} \left(\frac{1 - t}{z} - \frac{\tilde{Y}}{b} \right) + \frac{d\mu_1(b - z)}{\tau(\alpha - 1)v} \right\} \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
\hat{t}^* &= \max \left\{ 0, \arg \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{4d\lambda}{(n+1)^2(1-t)} - \frac{2d\delta\mu_1}{1+1/n} \right] \times \\ \frac{\partial \hat{z}^*(t)}{\partial t} + \frac{4d\lambda \hat{z}^*(t)}{[(n+1)(1-t)]^2} = \\ \left[\frac{c_2(1/t+1) +}{(c_2+p_1-p_2)(1-t)} \right] \times \frac{\partial \hat{z}^*(t)}{\partial t} + \\ \frac{[(\hat{z}^*(t))^2]}{(c_2/t^2 + c_2 + p_1 - p_2) / \hat{z}^*(t)} \end{array} \right\} \right\}, \\
\hat{z}^* &= \hat{z}^*(\hat{t}^*), \quad \hat{\pi}^* = (p_2 - c_2)/\tau - c_2/[\tau(\hat{t}^*)^2], \\
\hat{s}^* &= \frac{p_1 - p_1(1-\tau)}{\tau} \left[\frac{\sigma/(1-\bar{t}) - p_1 + p_2}{2c_2(1/\bar{t}+1) + p_1 - p_2} + \frac{1}{\tau} \right]^{-1}, \\
\hat{s}(x, z) &= \left\{ \begin{array}{l} \frac{(c_2 + p_1 - p_2)x^2 - c_2}{\tau x^2} - \\ \frac{2p_1(1/\tau - 1)dz^2\mu_1}{\tau(1+1/n)(1-x)(\alpha-1)v + 2dz^2\mu_1} \end{array} \right\}, \\
s(x) &= \begin{cases} \hat{s}, & \text{若 } x = \bar{t}, z = \hat{b} \\ \hat{s}^1, & \text{若 } x = \hat{t}, z = \hat{b} \\ \hat{s}^*, & \text{若 } x = \hat{t}^*, z = \hat{b} \\ s, & \text{若 } x = \bar{t}, z = b \\ \hat{s}^* & \text{若 } x = \hat{t}^*, z = \hat{z}^* \end{cases}, \\
B(x, z, w, t) &= \frac{\tau(n+1)z}{2} \left(\frac{1-x}{t} - \frac{w}{x} \right) + \frac{dn(b-t)\mu_1 z}{(\alpha-1)v}, \\
B(x, z, w, t) &= \begin{cases} \hat{B}, & \text{若 } x = \bar{t}, z = \hat{s}, w = y, t = \hat{b} \\ \hat{B}^1, & \text{若 } x = \hat{t}, z = \hat{s}^1, w = y, t = \hat{b} \\ \hat{B}^*, & \text{若 } x = \hat{t}^*, z = \hat{s}^*, w = y, t = \hat{b} \\ \bar{B}^*, & \text{若 } x = \bar{t}, z = \bar{s}^*, w = 1 - \bar{t}, t = \bar{z}^* \\ B^*, & \text{若 } x = t^*, z = s^*, w = 1 - \bar{t}, t = z^* \end{cases}.
\end{aligned}$$

性质 6 展示预算充足情况下, 社区医院越多, 政府应设置越低补贴价格. 源于三级医院能力下沉对社会福利有两方面影响. 一方面, 下沉优质服务能力可激励社区医院扩张服务能力, 引发更多患者选择基层社区, 患者均衡效益提高, 对社会福利产生正影响. 另一方面, 三级医院治疗价格较社区医院的低, 患者总量一定时, 服务能力下沉增加社区医院患者访问率、降低三级医院患

者访问率, 导致患者收益降低; 而且, 社区医院扩张越多服务能力造成成本越高, 下沉能力又减少运营利润, 对社会福利产生负面影响. 若社区医院较多且等于或高于阈值 $[N]$, 则下沉能力导致利润降低超过患者福利增加, 减少社会福利.

由 $\arg_n \{z^* = b\} > \arg_n \{z^* = \hat{b}\}$, 可知, 社区医院扩张单位服务能力成本越高, 用于提升参与主体绩效所需组建医联体成员数量上限越少. 社区医院服务能力成本越高, 政府组建的医联体构成成员最大容纳量应越少. 若社区医院较少且等于或少于阈值 $[\hat{N}]$, 社会福利随能力下沉率增加而增加, 政府应设置足够高的补贴价格, 而是否应协调社区医院给三级医院支付, 取决于社区医院数量. 较高支付价格, 一方面, 致使社区医院规划越低的服务能力, 导致基层社区患者访问率越低, 患者福利越低; 另一方面, 越低社区医院能力, 使运营成本越低, 运营利润越高. 当社区医院较少且少于阈值 \bar{N}^1 时, 高的支付价格对前者的影响控制着后者, 即社会福利随着支付价格增加而降低, 府不应协调社区医院支付给三级医院价格; 否则, 总存在唯一最优支付价格, 使社会福利达最大化. 若社区医院处于中等规模, 即 $[N] > n > [\hat{N}]$ 时, 对政府而言, 总存在唯一服务能力下沉补贴价格决策与支付价格决策, 使社会福利达到最大化. 社区医院越多, 下沉服务能力越不利于系统运作, 对此, 政府应协调各家社区医院提供越低支付价格, 降低服务能力下沉率, 尤其当 $n > [\bar{N}^2]$, 不提供支付价格反而更利于社会福利提升. 政府补贴预算较紧张情况, 可类似分析社区医院数量对均衡支付价格与补贴价格影响, 见数值模拟部分.

基于性质 6 结果, 探讨社区医院数量 n 的影响. 能力无下沉时, 社区医院数量影响, 如结论 1.

结论 1 对于能力无下沉情况, n 对均衡结果的影响为

i) 三级医院就诊率 λ_1^0 , 三级医院每位患者等待时间 W_1^0 及总等待时间 T^0 随 n 增加而减少.

ii) 社区能力 $\sum_{i=1}^n \mu_{2i}^0$, 每位患者效益 P^0 及社

区医院每位患者等待时间 W_{2i}^0 随 n 增加而增加.

iii) 社会福利 S^0 随 n 增加而先增加后减少, 即存在关于 n 的阈值 $[N^0]$, 使得

- 1) 若 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid n > N^0\}$, S^0 随 n 增加而增加; 2) 若 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid n \leq N^0\}$, S^0 随 n 增加而减少, $N^0 = \sqrt{4d\lambda b^2 / \{[2c_2 \tilde{X} + (p_1 - p_2) \tilde{Y}] \tilde{Y}\}} - 1$.

结论1表明能力无下沉时, 对于 $c_2 < \tilde{C}^2$, 社区医院 n 越多, 竞争患者越激烈, 选择三级医院就诊患者越少, 导致三级医院每位患者效益越高及等待时间越短. 但社区医院越多, 总社区医院能力越高, 社区医院治疗的患者之和越高, 鉴于三级医院治疗价格高于社区医院, 患者总量一定时, 三级医院治疗的患者越低, 收益之和越低, 而且越多社区医院服务能力产生越高成本, 导致利润越低. 而 n 较少且少于阈值 $[N^0]$ 时, 社区医院竞争带来的患者福利增加超过利润减少, 社会福利随 n 增加而增加; 否则, 社区医院越多, 社会福利越低. 社区医院较为中等规模时, 社会福利反而较高. 尽管每增加一家社区医院, 导致各家医院每位患者平均等待时间提高, 但三级医院每位患者等待时间降低较多, 致使等待时间之和减少.

结论2 对于能力下沉情况, 当 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid N > n > \hat{N}\}$ 及补贴资金较充足时,

i) 三级医院每位患者等待时间 W_1^* 随 n 增加而增加.

ii) 能力下沉率 x_i^* , 支付价格 π_i^* , 支付价格与补贴价格之和 $s^* + \pi_i^*$, 三级医院每位患者效益 P^* 及社区医院总能力 $\sum_{i=1}^n \mu_{2i}^*$ 均随 n 增加而减少.

iii) 社会福利 S^* 与三级医院就诊率 λ_1^* 均随 n 增加而先减少后增加.

结论2表明, 优质服务能力下沉时社区医院 n 越多, 患者效益越低. 这是因为 n 越多, 能力下沉导致患者对社区医院服务感知水平的增加反而越低, 政府需协调社区医院对三级医院支付越低价格、降低对三级医院补偿, 致使能力下沉率越低. 社区医院扩张的服务能力减少, 导致每位患

者效益降低, 三级医院每位患者等待时间更长. 特别地, 当社区医院规模较多, n 越多, 三级医院患者就诊率越高, 致使总等待时间更长. 而当社区医院规模较小, 随社区医院增多, 每位患者效益减少超过能力成本降低, 社会福利降低; 随社区医院规模的增加而超过一个阈值时, 增加社区医院导致社区医院能力成本降低反而超过患者效益降低, 社会福利提高, 社会福利 S^* 随社区医院 n 增加而先减小后增加.

比较 $0 < c_2 \leq \hat{C}^1$ 与 $\hat{C}^1 < c_2 < \hat{C}^2$ 情况下社区医院竞争对社会福利影响, 可得如下结论.

结论3 对于服务能力下沉情况, 若 $c_2 \leq \hat{C}^1$ 及 B 较充足且不低于阈值 \hat{B}^0 , 社会福利随 n 增加而先减小后增加, 即存在关于社区医院数量 n 阈值 $[\bar{N}^1]$ 、 $[\bar{N}^2]$ 及 $[\bar{N}]$, 使得

i) 若 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \max\{\bar{N}^1, \bar{N}\} < n < \min\{\bar{N}^2, \bar{N}\}\}$, 则 $\hat{S} > S^* > S^0$;

ii) 若 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \bar{N} < n \leq \bar{N}^1, \bar{N}^2 \leq n < N\}$, 则 $S^* \geq \hat{S} > S^0$, 其中 S^* 与 \hat{S} 分别为部分与全部能力下沉时的社会福利; $\bar{N} = \arg_n \{z^* = b(\bar{x}^*)\}$,

$$\bar{t}^0 = \max \{ \bar{t}, \min \{ t^*, \{1 - 2b / [(n+1)\hat{a}_1]\} \} \},$$

$$\bar{N}^1 = \min \arg_n \{ \hat{S} = S^* \}, \bar{N}^2 = \max \arg_n \{ \hat{S} = S^* \},$$

$$\begin{aligned} \bar{x}^* &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{1 - 1/(na_1\mu_1) + \delta + \sqrt{\left(1 - \frac{1}{na_1\mu_1} - \delta\right)^2 + \frac{d(1/n+1)(1-\bar{t}^0)}{(\alpha-1)v\mu_1}}}{\sqrt{\left(1 - \frac{1}{na_1\mu_1} - \delta\right)^2 + \frac{d(1/n+1)(1-\bar{t}^0)}{(\alpha-1)v\mu_1}}} \right\}, \\ \hat{B}^0 &= \left[\begin{aligned} &\left[\frac{c_2 / [\tau(\bar{t}^0)2] + (c_2 + p_1 - p_2) / \tau - }{\tau(\alpha-1)v / [ndb(\bar{x}^*)a_1(\bar{x}^*)\mu_1]} \right] \times \\ &\left[\frac{p_1(1/\tau - 1)}{\tau(\alpha-1)v / [ndb(\bar{x}^*)a_1(\bar{x}^*)\mu_1]} \right] \end{aligned} \right] \times \\ &\left[\frac{\tau/a_1 - \tau(n+1)\bar{Y}/(2b) + (1-\tau)x^0\mu_1}{\tau/a_1 - \tau(n+1)\bar{Y}/(2b) + (1-\tau)x^0\mu_1} \right] \end{aligned}$$

由性质6及结论3, 可知, 对于低的社区能力成本, 当 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \bar{N} < n < N\}$, 部分服务能力下沉可提高社会福利, 即 $S^* > S^0$. 由于三级医院除服务S-类型患者之外的能力全被下沉时, 社区医院越多, 竞争越大, 下沉社区医院

能力越低, 每位患者对社区医院能力感知越低. 患者选择决策下, 社区医院制定越高服务能力, 引发越高成本, 即社会福利越低, 均衡社会福利 \hat{S} 随社区医院增多而减少. 基于结论 2, 发现, 存在 n 的阈值 \bar{N}^1 与 \bar{N}^2 , 当 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \bar{N}^1 < n < \bar{N}^2\}$, 部分能力下沉时的社会福利 S^* 较低且低于 \hat{S} , 若 B 较充足且不低于阈值 \hat{B}^0 , 政府通过设定不低于一个阈值的高补贴价格及协调社区医院对三级医院提供支付, 使三级医院剩余能力平均下沉到各家社区医院, 将带来更高社会福利. 否则, 即社区医院较少且不高于阈值 $[\bar{N}^1]$ 或社区医院较多且不低于阈值 $[\bar{N}^2]$, 均衡社会福利 S^* 反而不低于 \hat{S} . 总之, 社区医院能力成本较低时, 对于中等规模社区医院, 三级医院剩余全部能力均被下沉社区医院, 越利于社会福利提升; 较少或较多社区医院, 社会福利较高.

基于结论 2~结论 3, 可发现: 相比于仅一家社区医院情况, 医联体有 2 家以上社区医院时, 政府应设置更低的补贴价格; 每家社区医院应支付给三级医院更低的价格; 三级医院下沉社区医院更低的服务能力; 三级医院每位患者等待时

间/效益更高/更低; 但是社会福利可能更低、也可能更高, 主要取决于社区医院规模. 若社区医院规模较小, 由多家社区医院比由一家社区医院构成的医联体的社会福利更低; 否则, 由多家社区医院构成的医联体的社会福利更高.

结论 4 给出优质医疗资源可被下沉的条件.

结论 4 i) 对于 $\hat{C}^1 < c_2 < \hat{C}^2$, 1) 当 $B \geq B^*$, 三级医院补偿决策及能力下沉情况为图 3; 2) 当 $B < B^*$, 政府不仅需补偿三级医院, 还需协调各家社区医院提供支付, 而三级医院服务能力仅部分下沉至社区医院. ii) 对于 $0 < c_2 \leq \hat{C}^1$, 相比 i), 存在两点区别.

1) 若 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid N > n > \max\{\bar{N}, \bar{N}^2\}\}$, 政府需协调社区医院提供支付;

2) 若 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \hat{N} \geq n > \bar{N}^1\}$ 且 $B \geq \hat{B}^1$, 政府仅需补偿三级医院, 无需协调社区医院,

$$B^* = \begin{cases} \bar{B}^*, & \text{若 } n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \bar{N}^0 > n \geq N\} \\ B^*, & \text{若 } n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \min\{N, \bar{N}^2\} > n > \hat{N}\} \\ \hat{B}^*, & \text{若 } n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \hat{N} \geq n > \bar{N}^1\} \\ \hat{B}, & \text{若 } n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \min\{\hat{N}, \bar{N}^1\} \geq n \geq 1\}. \end{cases}$$

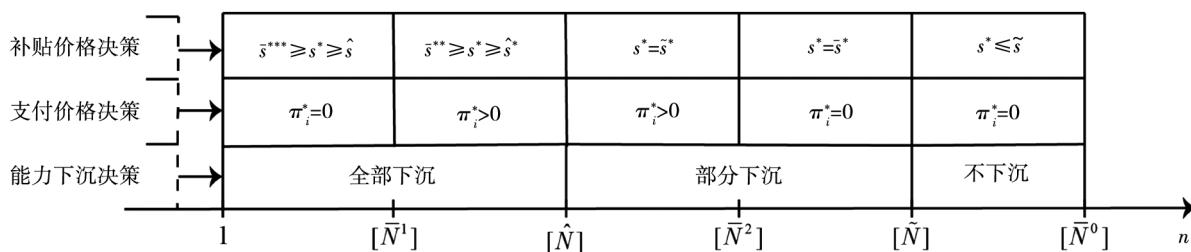


图 3 补贴预算充足情况下三级医院能力下沉及补偿决策

Fig. 3 The tertiary hospital's capacity sinking and compensation decisions under sufficient subsidy budget

结论 4 表明补贴预算充足时, 存在 n 的阈值 $[\bar{N}]$ 与 $[\hat{N}]$, 若 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \bar{N}^0 > n \geq N\}$ 、 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid N > n \geq \hat{N}\}$ 、 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \hat{N} > n \geq 1\}$, 相应社区医院规模 n 分别称为“高等”、“中等”以及“低等”, 如图 3 所示. 对于社区医院单位能力成本中高或高等水平, 仅对于中或高等规模社区医院, 政府需补贴三级医院或协调社区医院与三级医院提供支付, 激励三级医院能力下沉. 对于低等规模社区医院, 政府需提供足够高的补

贴价格或协调社区医院支付给三级医院价格, 使三级医院用于服务 M - 类型患者的能力全下沉. 而且, 社区医院是否应支付给三级医院价格, 取决 n . 若 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \hat{N} > n > \bar{N}^1\}$, 社区医院可支付给三级医院费用; 若 $n \in \{n \in \mathbb{N}_+ \mid \bar{N}^1 \geq n \geq 1\}$, 社区医院不应支付给三级医院费用. 这是因为三级医院下沉至各家社区医院服务能力总量是一定的, 社区医院越多, 各家社区医院平均需扩张的服务能力越少. 由于社区医院扩张越少服

务能力, 用于支付给三级医院的费用越多, 这表明, 社区医院规模越多, 支付价格越高. 因此仅当社区医院数量超过阈值 $[\bar{N}^1]$, 社区医院才应与三级医院提供支付. 相比于社区医院规模低等情况, 对于中等规模的社区医院, 存在唯一补贴价格与支付价格, 使三级医院仅部分服务能力下沉至社区, 以至于社区医院与三级医院共同服务于医联体内的 M - 类型患者. 根据结论 2 - ii), 可知社区医院规模越大, 支付价格越低, 使得当社区医院规模超过阈值 $[\bar{N}^2]$ 时, 各家社区医院作为利润最大化的决策者, 不应与三级医院提供任何的支付费用. 否则, 即社区医院规模低于阈值 $[\bar{N}^2]$ 时, 政府协调各家社区医院支付给三级医院一定的费用, 将更加有利于整个医联体社会福利的提升.

4 进一步检验

本节主要探讨社区医院服务能力成本中等水平时, 权重系数 τ 影响, 及补贴预算较紧张时最优支付价格存在性问题, 如图 4 图 5 所示. 考虑参数值设定满足文中基本假设: $\lambda = 1$, $\mu_1 = 1.13$, $d=0.55$, $v=3$, $\alpha = 2$, $\alpha_s = 2.5$, $p_1 = 3.5$, $p_s = 4$, $p_2 = 2$, $c_1 = 0.2$, $c_2 = 0.01$, $\varphi = 0.65$.

首先分析 τ 对均衡支付价格 π_i^* 、均衡补贴价

格 s^* 及实现社会福利最大化目标所需补贴预算 B^* 或 \bar{B}^* 影响, 如图 4 所示. 对于预算充足情况, 政府协调社区医院支付的总费用一定, τ 越高, 单位支付价格越低. 协调社区医院进行支付中, 能力下沉导致社区医院患者诊疗率增加关切度越高, 政府应设置越低支付价格. 由于三级医院总补偿价格由补贴价格与支付价格组成, 即补贴价格随补偿价格增加而增加、随支付价格增加而降低. τ 对补贴价格有两方面影响, 一方面, τ 越高, 支付价格越低, 补贴价格越高; 另一方面, τ 越高, 三级医院下沉单位能力获得边际补偿费用越高, 社会福利最大化下, 越高的 τ , 政府设置越低补偿价格, 引发越低补贴价格. 但对于比较低的 τ , 随 τ 增加, 支付价格降低控制补偿价格降低, 致使补贴价格增加, 因此补贴价格随 τ 增加而增加; 否则, 补偿价格降低主导支付价格降低, 导致补贴价格随 τ 增加而降低. 补贴价格随 τ 变化, 导致政府提供补贴所需预算也随 τ 增加而先增加后减小. 因此社区医院患者诊疗率增加关切度较高或较低时, 政府应设置较低补贴价格; 而社区医院患者诊疗率增加关切度较中等时, 政府应设置较高补贴价格. 社区医院患者诊疗率增加关切度较高或较低, 越有利于节约政府补贴费用. 由于社区医院数量越高, 支付价格越低, 导致高补贴价格, 因此, 竞争社区医院越多, 政府所需补贴预算反而越高.

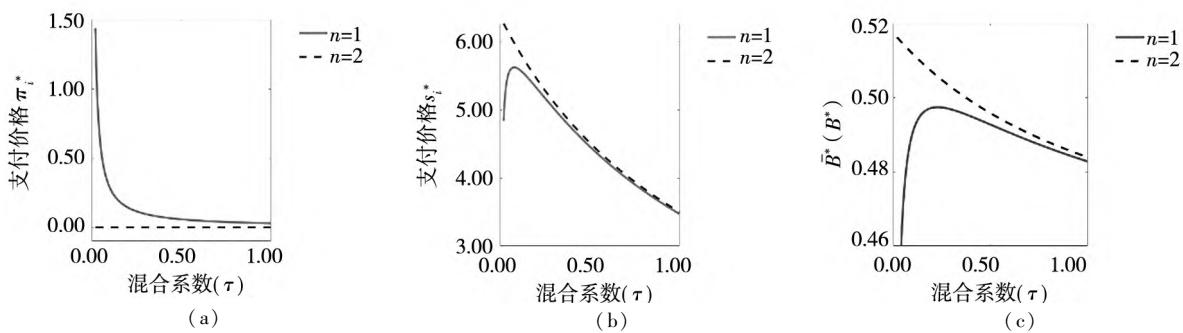


图 4 权重系数 τ 对均衡结果影响

Fig. 4 Impacts of the weight parameter τ on equilibrium results

图 5 展示预算较紧缺下, 社会福利随支付价格增加而先增加后降低, 存在唯一均衡支付价格, 使社会福利达最大化. 对比图 5 - (a) 与 5 - (b), 可知与预算较充足情况类似, 社区医院数量越多, 均衡支付价格越低. 对比图 5 - (a) 与图

5 - (c), 发现 B 越低, 若政府协调社区医院对三级医院提供越高支付价格, 社会福利越靠近系统最优值, 均衡支付价格越高. 观察图 5 - (a), 可发现与预算较充足情况不同, 若预算较紧缺, 对于较低或较高的 τ , 最大化社会福利的均衡支付

价格较低；而对于较中等的 τ ，均衡支付价格反而较高。这是因为较中等水平的 τ ，实现社会福利最大化所需预算较多，紧缺预算下，政府应设置较高支付价格；而对于较低等或较高等水平的 τ ，鉴于补贴三级医院所需预算较少，政府可协调社区医院支付给三级医院较低支付价格。由于 τ 越低，激励

三级医院下沉能力所需补偿资金越低，因此越低 τ 越有利于社会福利提高。总之，对于预算紧缺情况，竞争社区医院数量越多或预算越高（或关于社区医院患者诊疗率增加关切度较低及较高），政府应设置越低（较低）支付价格；关于社区医院患者诊疗率增加关切度越低，越有利于社会福利提升。

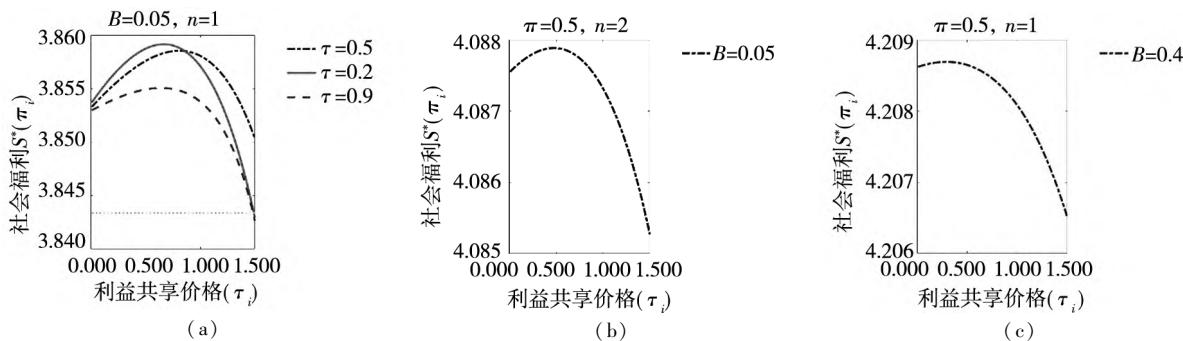


图 5 支付价格 π_i 对社会福利的影响

Fig. 5 Impacts of the payment price π_i on social welfare

5 结束语

为了促进分级诊疗服务系统中上级三级医院优质医疗资源合理转至下级社区医院，研究医联体模式下政府与医院合作协调优质医疗资源再分配及医疗系统有效运作的激励机制。基于排队论框架，构建政府、三级医院、多家社区医院及患者间的四阶段序贯博弈模型，分析各参与主体的动态决策关系，给出政府补贴价格与社区医院支付价格的均衡决策以及参与主体的均衡绩效，进而探讨有限预算情况下，参与主体的决策及医联体持续运作的影响机理。

优质医疗资源无下沉情况下，社区医院数量越多，越有利于缓解三级医院与医疗系统拥挤；相比于低等或高等规模社区医院，中等规模社区医院对患者福利及社会福利提升更有利。其次，优质医疗资源下沉情况下，1) 政府协调决策方面，对于低等或中等规模社区医院，政府才应补偿三级医院，即当社区医院中等规模，社区医院越多，政府应协调社区医院提供给三级医院越低的支付价格及对三级医院补偿总费用越低；社区医院低等规模时，越多社区医院，反而应提供越高支付价格。特别地，对于预算较充足，若社区医院服务能力成本中高等或高等以及社区医院规模较低等且低于一个阈值或社区医院规模较中等

且高于一个阈值时，政府不应协调社区医院提供给三级医院任何支付费用。而且，社区医院服务能力成本越高，政府组建的医联体构成成员最大容纳量应越少。2) 医联体内优质医疗资源下沉运作效率方面，医联体内下级社区医院越多将使资源下沉率越低，导致患者福利及社会福利越低、三级医院与系统等待时间越高。3) 三级医院下沉资源补偿中，对社区医院患者增加率的关切度影响方面，相比于中等的关切度，低等或高等的关切度，更加有利于政府节约补贴资金，尤其是对于紧缺的预算，更加有利于社会福利的提升。

主要管理启示包括：医联体主导者政府部门，在与医院合作协调优质医疗资源下沉时，需仔细考虑医联体构成社区医院数量。对于较多社区医院，政府需协调社区医院提供较低支付价格，且应对三级医院提供较高补贴价格。政府组建医联体实施资源下沉时，需斟酌社区医院并非越多越好，较少社区医院可能反而更加有利于提升患者福利与社会福利，缓解三级医院及系统拥挤，也更加有利于节约政府补贴资金及促进医联体助力分级诊疗运作。

在本研究基础上，后续可开展如下研究工作。首先，考虑社区医院竞争患者影响时，基于社区医院同质情况，实际中当三级医院优质医疗资源下沉，可能会指定具体的或与其协议合作的社区医院，未来研究方向可进一步考虑社区医院

异质情况.其次,鉴于模型复杂性,假设不同病情严重程度患者有相同服务时间与服务规则,而实际中可能严重患者需更长的服务时间或更优先获得服务,如何进行转诊是后续进一步展开的研究内容.最后,本研究针对政府组建型医联体,

探讨政府促进优质医疗资源下沉时,对三级医院补贴以及政府对社区医院和三级医院之间共享利益进行协调,然而现实中还存在医院自建型医联体模式下,医院自己进行利益共享实现优质医疗资源下沉,未来也可针对这一情景开展研究.

参 考 文 献:

- [1]王文娟,王季冬.过度医疗与转诊制:一个排队论下的博弈模型[J].管理科学学报,2019,22(2):63-76.
Wang Wenjuan, Wang Jidong. Overtreatment and referral systems: A game embedded in a queuing model[J]. Journal of Management Sciences in China, 2019, 22(2): 63 - 76. (in Chinese)
- [2]余玉刚,王耀刚,江志斌,等.智慧健康医疗管理研究热点分析[J].管理科学学报,2021,24(8):58-66.
Yu Yugang, Wang Yaogang, Jiang Zhibin, et al. Analysis of research hotspots of intelligent health care management[J]. Journal of Management Sciences in China, 2021, 24(8): 58 - 66. (in Chinese)
- [3]叶初升,倪 夏,赵 锐.收入不平等、正向选择与医疗市场中的资源错配[J].管理世界,2021,37(5):113-127.
Ye Chusheng, Ni Xia, Zhao Rui. Income inequality, advantageous selection and misallocation of medical resource[J]. Journal of Management World, 2021, 37(5): 113 - 127. (in Chinese)
- [4]Xie J, Zhuang W, Ang M, et al. Analytics for hospital resource planning-two case studies[J]. Production and Operations Management, 2021, 36(6): 1863 - 1885.
- [5]封 进,吕思诺,王 贞.医疗资源共享与患者就医选择一对我国医疗联合体建设的政策评估[J].管理世界,2022,38(10):144-157.
Feng Jin, Lü Sinuo, Wang Zhen. Medical resource sharing and patients' choice: Evaluation of medical consortium construction policy in China[J]. Journal of Management World, 2022, 38(10): 144 - 157. (in Chinese)
- [6]央视网.国家卫生健康委:医联体加快建设县域内就诊率近90% [EB/OL]. [2020-6-22]. <https://jiankang.cctv.com/2020/06/22/ARTIXdny2rmnaquoH3iEPsq200622.shtml>.
CCTV net. The construction of medical alliances has been accelerated, and the rate of medical visits in counties has reached nearly 90% [EB/OL]. [2020-6-22]. <https://jiankang.cctv.com/2020/06/22/ARTIXdny2rmnaquoH3iEPsq200622.shtml>. (in Chinese)
- [7]四川日报.四川推动优质医疗资源向下延伸县域医疗就诊率超过90% [EB/OL]. [2022-01-27]. <http://m.people.cn/n4/2022/0127/c3773-15416076.html>.
Sichuan Daily. Sichuan promotes the downward extension of high-quality medical resources and the county medical attendance rate exceeds 90% [EB/OL]. [2022-1-27]. <http://m.people.cn/n4/2022/0127/c3773-15416076.html>. (in Chinese)
- [8]Betcheva L, Erhun F, Jiang H. OM Forum-Supply chain thinking in healthcare: Lessons and outlooks[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2021, 23(6): 1333 - 1682.
- [9]Dai T, Tayur S. OM Forum: Healthcare operations management: A snapshot of emerging research[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2020, 22(5): 869 - 1106.
- [10]杨善林,丁 帅,顾东晓,等.医联网:新时代医疗健康模式变革与创新发展[J].管理科学学报,2021,24(10):1-11.
Yang Shanlin, Ding Shuai, Gu Dongxiao, et al. Internet of healthcare systems (IHS): Revolution and innovations of healthcare management model in the new era[J]. Journal of Management Sciences in China, 2021, 24(10): 1 - 11. (in Chinese)
- [11]陈晓红,曾阳艳,陈武华.患者延时敏感下按项目与按病种支付的比较[J].管理科学学报,2022,25(8):1-21.
Chen Xiaohong, Zeng Yangyan, Chen Wuhua. Comparisons of the fee-for-service and diagnosis-related groups payment

- modes based on delay-sensitive patients[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2022, 25(8): 1–21. (in Chinese)
- [12] Wowak K D, Lalor J P, Somanchi S, et al. Business analytics in healthcare: Past, present, and future Trends[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2022, 25(3): 975–995.
- [13] Song H, Tucker A L, Graue R, et al. Capacity pooling in hospitals: The hidden consequences of off-service placement [J]. *Management Science*, 2019, 66(9): 3799–4358.
- [14] Carew S, Nagarajan M, Shechter S, et al. Dynamic capacity allocation for elective surgeries: Reducing urgency-weighted wait times[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2021, 23(2): 267–545.
- [15] Oh J, Su X. Reservation policies in queues: Advance deposits, spot prices, and capacity allocation[J]. *Production and Operations Management*, 2018, 27(4): 680–695.
- [16] Deo S, Iravani S, Jiang T, et al. Improving health outcomes through better capacity allocation in a community: Based chronic care model[J]. *Operations Research*, 2013, 61(6): 1277–1294.
- [17] Zeng Y, Zhang L, Cai X, et al. Cost sharing for capacity transfer in cooperating queueing systems[J]. *Production and Operations Management*, 2018, 27(4): 644–662.
- [18] Liu H, Yu Y, Benjaafar S, et al. Price-directed cost sharing and demand allocation among service providers with multiple demand sources and multiple facilities[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2022, 24(1): 1–689.
- [19] 林凯程, 张 永. 某紧密型城市医疗集团优质医疗资源下沉实践与分析[J]. *中国医院*, 2022, 26(12): 84–86.
Lin Kaicheng, Zhang Yong. Practice and analysis of decentralization of high-quality medical resources in a compact urban medical group[J]. *Chinese Hospitals*, 2022, 26(12): 84–86. (in Chinese)
- [20] 孙 杨, 孟庆国, 申俊龙, 等. 国内外医联体资源整合模式分析[J]. *中国医院*, 2022, 26(3): 2–6.
Sun Yang, Meng Qingguo, Shen Junlong, et al. Analysis of medical resources integration mode of domestic and foreign medical cluster[J]. *Chinese Hospitals*, 2022, 26(3): 2–6. (in Chinese)
- [21] Wang J, Li Z, Shi J J, et al. Hospital referral and capacity strategies in the two-tier healthcare systems[J]. *Omega*, 2021, 100: 102229, <https://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102229>.
- [22] Hua Z, Chen W, Zhang Z G. Competition and coordination in two-tier public service systems under government fiscal policy [J]. *Production and Operations Management*, 2016, 25(8): 1430–1448.
- [23] Mišić V V, Perakis G. Data analytics in operations management: A review[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2020, 22(1): 158–169.
- [24] Zhou W, Wan Q, Zhang R. Choosing among hospitals in the subsidized health insurance system of China: A sequential game approach[J]. *European Journal of Operational Research*, 2017, 257(2): 568–585.
- [25] 李忠萍, 王建军. 分级诊疗体系下的转诊决策与政府协调机制研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2020, 40(11): 2897–2909.
Li Zhongping, Wang Jianjun. Referral decision and government coordination mechanism in the hierarchical healthcare systems[J]. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2020, 40(11): 2897–2909. (in Chinese)
- [26] Qian Q, Guo P, Lindsey R. Comparison of subsidy schemes for reducing waiting times in healthcare systems[J]. *Production and Operations Management*, 2017, 26(11): 2033–2049.
- [27] Gao X, Wen J, Song J. Capacity allocation and revenue sharing in healthcare alliances[J]. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 2020, 32(4): 829–851.
- [28] 王海燕, 张 亮, 刘思文. 基于付费策略的医联体信息共享运营机制设计[J]. *系统工程学报*, 2019, 34(3): 335–345.
Wang Haiyan, Zhang Liang, Liu Siwen. Design of medical association information sharing operation mechanism based on subscription plan[J]. *Journal of Systems Engineering*, 2019, 34(3): 335–345. (in Chinese)
- [29] 孙淑慧, 苏 强. 医联体环境下患者情绪影响的分级诊疗策略演化博弈分析[J]. *中国管理科学*, 2021, <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2020.1886>.
Sun Shuhui, Su Qiang. Evolutionary game analysis of graded diagnosis and treatment strategies affected by patients' emotions under regional medical association[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2021, <https://doi.org/10.16381/>

- j. cnki. issn1003 - 207x. 2020. 1886. (in Chinese)
- [30] Li N, Pan J, Xie X. Operational decision making for a referral coordination alliance: When should patients be referred and where should they be referred to? [J]. Omega, 2020, 96: 102077.
- [31] Lin C, Shang K, Sun P. Wait time: Based pricing for queues with customer-chosen service times [J]. Management Science, 2023, 69(4): 2127 - 2146.
- [32] Andritsos D A, Aflaki S. Competition and the operational performance of hospitals: The role of hospital objectives [J]. Production and Operations Management, 2015, 24(11): 1812 - 1832.
- [33] 卫生健康委. 国家卫生健康委办公厅关于做好2019年家庭医生签约服务工作的通知 [EB/OL]. [2019-04-26]. http://www.gov.cn/xinwen/2019-04/26/content_5386470.htm. National Health Commission of PRC. Notice of the General Office of the NHC on signing up family doctors for services in 2019 [EB/OL]. [2019-04-26]. http://www.gov.cn/xinwen/2019-04/26/content_5386470.htm. (in Chinese)
- [34] 周忠良. “互联网+医疗”的现状、问题与发展路径 [J]. 人民论坛, 2021, (22): 88 - 91.
- Zhou Zhongliang. Current situation, problems and development path of “Internet Plus Medical Care” [J]. People’s Tribune, 2021, (22): 88 - 91. (in Chinese)
- [35] Shumsky R A, Pinker E J. Gatekeepers and referrals in services [J]. Management Science, 2003, 49(7): 839 - 856.
- [36] Lee H, Pinker E J, Shumsky R A. Outsourcing a two-level service process [J]. Management Science, 2012, 58(8): 1569 - 1584.
- [37] Qian Q, Zhuang W. Tax/subsidy and capacity decisions in a two-tier health system with welfare redistributive objective [J]. European Journal of Operational Research, 2017, 260(1): 140 - 151.
- [38] 姜敏, 田林, 余航. 体验式服务系统的“价格-速度”竞争策略研究 [J]. 管理科学学报, 2020, 23(12): 52 - 62.
- Jiang Min, Tian Lin, Yu Hang. Optimal price-speed strategy in customer-intensive service system [J]. Journal of Management Sciences in China, 2020, 23(12): 52 - 62. (in Chinese)
- [39] Liu Y, Wang X, Gilbert S, et al. On the participation, competition and welfare at customer intensive discretionary service platforms [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2023, 25(1): 218 - 234.
- [40] Guo P, Tang C S, Wang Y, et al. The impact of reimbursement policy on social welfare, revisit rate, and waiting time in a public healthcare system: Fee-for-service versus bundled payment [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2019, 21(1): 154 - 170.
- [41] Savva N, Tezcan T, Yild Ö. Can yardstick competition reduce waiting times? [J]. Management Science, 2019, 65(7): 3196 - 3215.
- [42] Liu N, Van Jaarsveld W, Wang S, et al. Managing outpatient service with strategic walk-ins [J]. Management Science, 2023, 69(10): 5904 - 5922.
- [43] Zhou W, Huang W, Hsu V N, et al. On the benefit of privatization in a mixed duopoly service system [J]. Management Science, 2023, 69(3): 1486 - 1499.
- [44] Moliner M. Hospital perceived value [J]. Health Care Management Review, 2006, 31(4): 328 - 336.
- [45] Jiang H, Pang Z, Savin S. Performance incentives and competition in health care markets [J]. Production and Operations Management, 2020, 29(5): 1145 - 1164.
- [46] Nassiri S, Adida E, Mam H. Reference pricing for healthcare services [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2022, 24(2): 921 - 993.
- [47] 陈妍, 周文慧, 华中生, 等. 面向延时敏感患者的转诊系统定价与能力规划 [J]. 管理科学学报, 2015, 18(4): 73 - 83.
- Chen Yan, Zhou Wenhui, Hua Zhongsheng, et al. Pricing and capacity planning of the referral system with delay-sensitive patients [J]. Journal of Management Sciences in China, 2015, 18(4): 73 - 83. (in Chinese)
- [48] Li Z, Wang J, Chang A, et al. Capacity reallocation via sinking high-quality resource in a hierarchical healthcare system [J]. Annals of Operations Research, 2021, 300(5): 97 - 135.
- [49] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于推进分级诊疗制度建设的指导意见 [EB/OL]. [2015-9-11]. <http://www>.

gov.cn/zhengce/content/2015-09/11/content_10158.htm.

General Office of the State Council. Guiding opinions of the General Office of the State Council on promoting the construction of a hierarchical healthcare system [EB/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-09/11/content_10158.htm. (in Chinese)

Allocation strategies and coordination contracts of high-quality medical resources based on hospital association service mode

LI Zhong-ping¹, WANG Jian-jun^{2*}

1. School of Business, Anhui University, Hefei 230601, China;

2. School of Economics and Management, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China

Abstract: Based on the situation of promoting the effective development of hierarchical healthcare services through hospital associations, this paper studies the contractual mechanism of cooperation between the government and hospitals in coordinating the allocation of high-quality medical resources as well as the mechanism of the operations of hospital associations. By developing a four-stage game-theoretic queueing model, this paper analyzes the dynamic interaction relationships among patients, multiple community hospitals, and tertiary hospitals in a hospital association, and government. Next, this paper presents the equilibrium decisions in terms of patients' arrival rate, community hospitals' capacity planning, the tertiary hospital's resource sinking rate, and the government's subsidy price, and each community hospital's profit-sharing price. It finds that, in the absence of resource sinking, the more community hospitals there are, the more conducive they are to reducing the congestion of tertiary hospitals and the healthcare system and improving the welfare of patients. Furthermore, the medium number of community hospitals is more conducive to the improvement of social welfare. By contrast, the fewer the community hospitals, the more favorable the hospital association is to promoting the implementation of the resource-sinking program and improve the effectiveness of the system. When the community hospital's capacity cost per unit is higher, the maximum number of members in the government-formed consortium should be the smaller. Numerical experiments show that in the process of compensating a tertiary hospital, when the concerned degree of the increase in the rate of patients visiting community hospitals is relatively low or high, the government could save subsidy funds. Specifically, in the case of limited subsidy budgets, this is particularly beneficial for the improvement of social welfare. This paper proposes the contract mechanisms for coordinating the effective allocation of high-quality medical resources in a hospital association. This provides theoretical decision support for the government to establish a scientific hierarchical healthcare delivery system. At the same time, this paper has a high application reference value for improving the overall efficiency of healthcare services.

Key words: hospital association; resource sinking; coordination contracts; queueing game theory; operations performance