

· 疫情预警与防控 ·

重大突发公共卫生事件下的医疗物资供应问题及对策

杜丽敬² 夏翔¹ 应焕钦¹ 祁超¹ 王红卫^{1*}

1. 华中科技大学 管理学院, 武汉 430074

2. 武汉理工大学 安全科学与应急管理学院, 武汉 430070

[摘要] 基于重大突发公共卫生事件下医疗物资的稀缺性、时效性与不可替代性等特点, 通过对武汉市应对新冠肺炎疫情中的医疗物资保障工作回顾, 本文提出了医疗物资需求难以预测、市场主导的供给机制失灵与社会捐赠医疗物资供需难以及时对接三个主要现实问题。在此基础上, 提出了政府主导的多元化医疗物资供给模式, 并提出了医疗物资需求预测、转扩产政策和捐赠物资供需匹配等方面的研究前沿, 最终给出了相应的对策与建议。

[关键词] 重大突发公共卫生事件; 医疗物资; 需求预测; 供给模式; 供需匹配

医疗卫生资源保障工作直接影响重大突发公共卫生事件应对的大局。医疗卫生资源是指在一定社会经济条件下, 社会对卫生部门与公众提供的人力、物力、财力的总称。在本文中, 主要是指应对突发公共卫生事件中的关键医疗物资, 包括: 医疗防护物资, 如口罩、防护服等; 医疗药品; 医疗救治器械, 如呼吸机等。在发生重大突发公共卫生事件时, 医疗物资需求量往往会爆发式增长, 不可避免的会出现物资短缺的现象。除了稀缺性的特征, 医疗物资往往还呈现如下特点: (1) 时效性, 必须在一定时间内到达, 才能发挥它的作用和价值; (2) 不可替代性, 不同种类的医疗物资往往不能相互替代^[1]。在重大突发公共卫生事件应对过程中, 医疗物资保障则呈现出如下的特点: (1) 需求的不确定性, 事件和疫情发生的持续时间、强度和影响范围的不可预测, 决定了需求的不确定; (2) 供应的滞后性, 需求发生后医疗物资需要经过生产或运输环节后才能到达。

医疗物资的稀缺性及其他特点, 给重大突发公共卫生事件应对中的物资保障工作带来很多困难。在抗击新冠肺炎疫情过程中, 特别是疫情初期, 武汉的医疗物资需求出现爆发式增长, 医疗物资供应呈现



王红卫 博士, 华中科技大学教授, 博士生导师, 教育部长江学者特聘教授, 国家自然科学基金委员会创新研究群体项目获得者, 国家杰出青年科学基金项目获得者, 教育部创新团队带头人; 兼任中国系统工程学会副理事长, 湖北省系统工程学会理事长。 *Frontier of Engineering Management* 执行副主编、中国大百科全书第三版系统科学学科副主编、《系统工程理论与实践》副主编。一直从事系统工程学科的科学管理, 主要研究方向涉及公共安全与应急管理、物流与供应链管理和工程管理等领域。



杜丽敬 博士, 武汉理工大学讲师, 主要研究方向为应急物流、产品/服务定价与政府补贴机制等。

三大问题: (1) 疫情传播规律不清, 医疗物资需求难以预测, 造成医疗物资配置不当; (2) 医疗物资供应短缺, 市场主导的供给机制失灵, 出现“高价难求一罩”的困局; (3) 供需信息不对称, 社会捐赠医疗物资不能及时对接, 难以发挥有效作用。针对以上暴露出的问题, 本文对新冠肺炎疫情下的医疗物资需

收稿日期: 2020-09-05; 修回日期: 2020-11-14

* 通信作者, Email: hwwang@hust.edu.cn

本文受到国家自然科学基金项目(72042015 和 71821001)的资助。

求预测、供给模式和供需匹配领域的研究进展进行了总结,提出了需要进一步研究的新问题,包括考虑物资供应与疫情演化耦合的医疗物资预测、转扩产政策设计和互联网环境下的社会捐赠医疗物资供需匹配等,并给出了相应的对策与建议。

1 新冠肺炎疫情下医疗物资的供应问题

1.1 疫情传播规律不清,医疗物资需求难以预测

医疗物资保障工作是战胜疫情的基础,而做好医疗物资保障工作的基础则是对需求的精准预测。然而,新冠肺炎疫情下的医疗物资需求所涉及的影响因素多,不但由疫情的严重程度决定,还受公众心理行为影响。同时,新冠肺炎疫情传染源未知、传播致病的机理以及变异风险不清,在持续时间、强度和影响范围上不可预测。这给医疗物资需求预测带来了困难,成为新冠肺炎疫情防控工作的一个难题。

方舱医院对武汉市疫情的防控起到了重要作用,为实施“四类人员”应收尽收和应治尽治防控策略创造了条件。从方舱医院的建设过程来看,由于没有掌握疫情演变规律和精准预测床位的需求量,第二批方舱医院的建设决策造成了一定的医疗资源浪费。2020年2月初决定建13座方舱医院,2月17日全部完工,新增床位1334张,对扭转武汉疫情的爆发趋势起到了关键作用。2月21日又决定再建19家方舱医院,到2月25日方舱医院床位要达到30000张。然而,2月18日需要治疗的病例为38020人,是整个疫情期间的最高峰。等到2月29日,需要治疗的病例已降到27700人,3月1日已有第一个方舱医院休舱,3月10日所有的方舱医院休舱。

1.2 医疗物资供应短缺,市场主导的供给机制失灵

新冠肺炎疫情发生后,医疗物资需求暴增,供应严重短缺。疫情初期,武汉医疗机构的常用防护物资(如防护服、医用外科口罩、N95口罩、橡胶手套等)只有几天的库存。各大医院医疗物资告急,相继发出公告紧急求援,向社会各界征集护目镜、N95口罩、外科口罩、医用帽、防护服、防冲击眼罩等物资。

由于医疗物资需求巨大,加之我国新冠肺炎疫情爆发期正值春节期间,人工短缺,交通运输与防护防护等成本上升,医疗物资价格暴涨。部分厂家和批发商存在哄抬物价、囤货居奇的行为,并自行定价,远远高出平时价格。以口罩为例,大批交易使用现金,不使用转账,甚至需要经熟人介绍才有资源。除口罩外,防护服等物资也出现涨价的情况,疫情前60元一套防护服,平均涨到200元(截至1月28

日)。市场主导的医疗物资供给机制失灵。

医疗物资转扩产并统一调配的供给方式是我国国家体制优势的体现。国务院国资委成立医疗物资专项工作组,专门负责统筹协调、协调解决企业生产、发运重点医疗物资过程中遇到的突出问题。工信部出台了税收优惠与财政补贴政策,并对疫情防控的重点医疗物资实施政府兜底采购收储;最大化释放医疗物资生产产能。党中央做出支援湖北的重大决策,全国一盘棋,各省市全力支援湖北,为疫情防控医疗物资供应提供了有力保障。截至2020年4月5日,一次性医用防护服日产能达到150万件以上,医用N95口罩日产能超过340万只,医疗物资供应基本满足需求^[2]。在转扩产政策支持下,我国医疗物资转扩产对确保医疗物资供应起到了重要的作用。

1.3 供需信息不对称,医疗物资难以及时对接

社会各界的捐赠是疫情防控中物资保障的一种重要形式和重要补充。捐赠的响应速度快,对解决疫情初期医疗物资短缺的燃眉之急起到了重要作用。

对于社会捐赠的医疗物资供给,关键是实现医疗物资供需信息的有效匹配,解决供需双方的信息不对称问题。为此,民间人士和媒体借助社交平台推动医疗物资供需信息沟通,如微博上@微公益和@人民日报共同建立的“抗击肺炎物资求助平台”;微信群、朋友圈中涌现出的许多“捐助群”“捐助圈”。但是,由于各个平台各自行动,自行寻找资源,无法形成一个更大规模的公共信息平台,使捐赠方无法掌握医疗机构的实时需求信息,不能完全解决供需信息不对称问题。另一方面,社交平台上信息发布的非专业性,造成医疗物资的医疗标准和交通物流信息等供需对接的部分关键信息缺失,出现了医疗物资的无效对接问题,导致捐赠物资的到位率低和到位物资发挥作用的低比例,甚至出现了被不法分子所从中牟利的现象。

社会捐赠医疗物资的分配工作主要由红十字会等基金会负责。疫情初期,大量捐赠医疗物资涌入武汉,由于缺乏信息化手段和缺少工作人员,基金会无法承担物资统一协调分配的巨大工作量,且由于信息公开不够及时,导致大量物资积压在仓库。另一方面,由于没有及时掌握医疗机构需求信息,并且缺乏科学的物资分配方法,导致捐赠医疗物资分配不合理,造成了社会对基金会的不信任,引起了很大的社会反响。

2 政府主导的多元化医疗物资供给模式

新冠肺炎疫情爆发初期,医疗物资需求激增,市场主导的供给机制失灵,医疗物资短缺问题严重。党中央和国务院果断采取措施,成立了医疗物资保障组,调集全国资源,并出台了一系列政策来保障供应,在短时间内就扭转物资短缺的局面。例如,N95口罩与医用防护服分别在2月上旬和2月下旬达到供需平衡,如图1所示。回顾新冠肺炎疫情期间医疗物资供应过程,其供给方式主要有储备、转扩产、市场采购以及社会捐赠等,实际上是政府主导的多元化医疗物资供给模式,如图2所示。这种供给模式在我国新冠肺炎疫情防控中取得了明显的成效^[3]。

基于供给形式、供应主体、供给客体、响应速度以及存在的问题这五个维度,表1分析了五种供给方式。医疗物资转扩产是以政府为主导、政企协同的医疗物资供给形式。具体是指政府通过动员机制,鼓励、引导社会企业转产、扩产医疗物资,并统一

调配,以满足医疗机构与公众对医疗物资的需求。储备是指在应急管理预防阶段,在政府主导下提供实物、技术、生产能力、信息等医疗物资或相关生产要素的储存与准备。我国医疗物资储备基本以政府或政企协同下的实物储备为主,极少地区同时具有实物储备和生产能力储备^[4]。实物储备中药品储备所占比重较大,而防护物资、医疗设备储备较少。采购是指政府、医疗机构或者公众通过市场机制获得医疗物资的方式。社会捐赠是指社会各界以实物或资金的方式提供医疗物资的过程。

政府主导的多元化医疗物资供给模式主要是为了应对重大突发公共卫生事件。医疗物资需求是由重大突发公共卫生事件驱动的,并由其影响的范围、程度等因素决定。由于事件的不可知性以及物资需求的动态变化,如何预测医疗物资的需求成了最基础的问题。多元化医疗物资供给模式主要包括储备、转扩产、市场采购以及社会捐赠等供给方式。在应对重大突发公共卫生事件中,政府能主导的是储

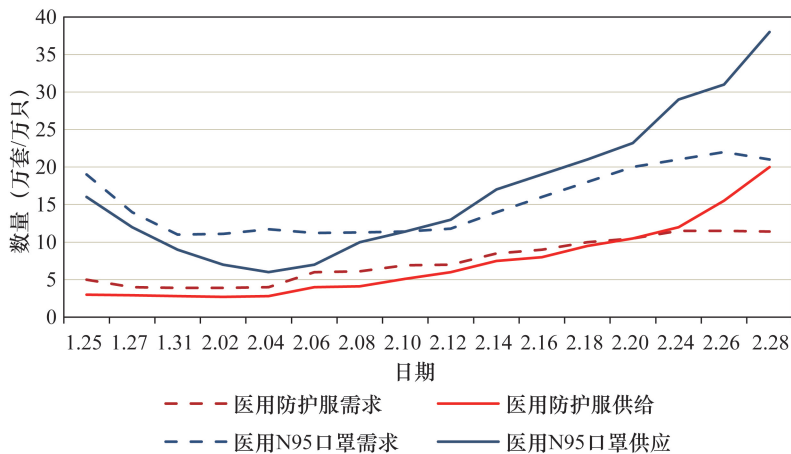


图1 新冠肺炎疫情期间武汉市医疗物资需求与供应情况
(数据来源:武汉客厅“人民至上 生命至上”——抗击新冠肺炎疫情专题展览)

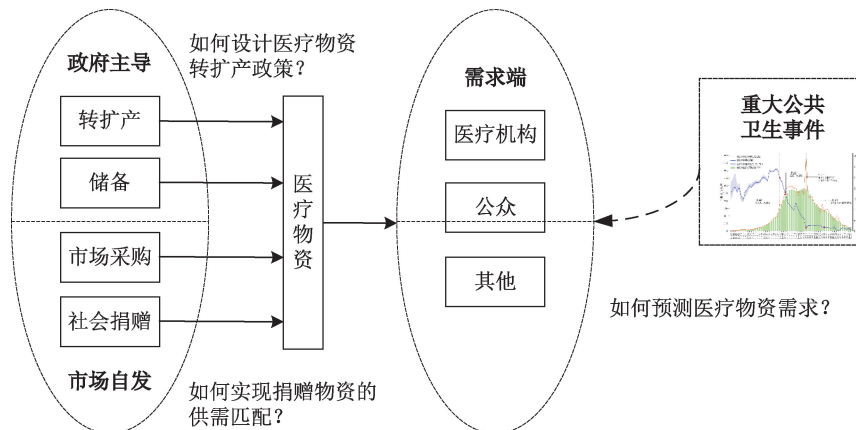


图2 政府主导的多元化医疗物资供给模式

表1 重大突发公共卫生事件下医疗物资供给方式

供给方式	供给主体	供给客体	响应速度	存在的问题
储备	政府	实物	快	采购和管理成本高、巨额资金占用、物资性能降低以及因管理不善造成医疗物资浪费
储备	政府	生产能力	慢	储备的生产能力、技术转化为所需要的医疗物资需要一定的时间,具有供应滞后性
转扩产	生产企业	实物	慢	存在因原材料不足、零部件及设备短缺等造成的供应中断风险
市场采购	生产企业、零售商	实物	快	容易出现供给方囤货居奇、哄抬物价以及采购方的恐慌性采购行为,进一步加剧医疗物资的稀缺性等
社会捐赠	企业/个人,公益性 社会组织,国家机关	实物,资金	快	捐赠物资中存在大量非所需物资,部分捐赠物资质量不符合医用标准,捐赠物资到达时间具有不确定性等

备和转扩产,并以此来影响市场行为。如何科学合理地设计医疗物资转扩产政策,避免事后恢复时期的产能结构性过剩,则是另一个主要问题。社会捐赠是突发事件初期医疗物资供应的主要来源,捐赠物资数量大、种类多和聚集速度快。由于捐赠方和需求方信息不对称,捐赠医疗物资供需匹配与对接则是亟需解决的问题。本文余下的部分主要讨论医疗物资需求预测、医疗物资的转扩产政策和捐赠医疗物资供需匹配等问题的研究前沿及对策建议。

3 医疗物资供应的关键问题

3.1 新冠肺炎疫情下的医疗物资需求预测

医疗物资需求预测指为了识别医疗机构和公众在提供或接受医疗卫生服务时所需物资的数量,通过收集、分析相关资料,选用合适的预测方法,对具体某类医疗物资的需求量做出预见性的估计。一般医疗物资需求预测以识别住院或门诊需求为目标,通常采用移动平均^[5]、线性回归^[6]等方法预测医疗机构日常的床位、医护人员、血液等医疗资源的需求,需求波动往往较小。对于重大传染病疫情,防护用品、急救设备等医疗物资的需求由疫情的严重程度决定,需求会伴随疫情的发展动态波动。因此,新冠肺炎疫情下的医疗物资需求预测关键在于研究疫情演化过程中的医疗物资需求变化。

新冠肺炎疫情背景下,很多学者对医疗物资需求预测问题进行了深入研究。我们对近期的相关文献进行了梳理,医疗物资需求预测研究可以划分为没有考虑疫情演化与考虑疫情演化两类,如表2所示。

没有考虑疫情演化的医疗物资需求预测研究,主要通过指数模型^[7]、统计模型^[8-10]等方法,利用静态模型对预测范围内的人口数量、病例数量等进行分析和拟合,从而预测医疗物资需求。

考虑疫情演化的医疗物资需求预测研究是研究

主流,主要运用仿真^[19, 20]、多周期贝叶斯序贯决策模型^[22]、传染病动力学模型,例如 SIR 模型^[11]、SEIR 模型^[12-16]、SIRD 模型^[17]、SEIHR 模型^[18]以及 IHRD 模型^[19]等动态模型,模拟了疫情中不同群体的数量和状态随时间的变化过程,对疫情发展趋势以及医护人员、ICU 床位、呼吸机、口罩等医疗物资需求数量进行了预测。现有研究考虑了人口数量、病例数量、防控措施等因素对疫情演化过程以及医疗物资需求预测的影响。医疗物资需求主要受疫情演化的影响,同时医疗物资的供应也会影响疫情演化,它们之间存在耦合关系。现有研究未考虑物资供应与疫情演化的耦合关系对医疗物资需求预测的影响,这是医疗物资需求预测不正确的一个主要原因。另一方面,地区间的疫情传播往往具有关联性^[23],但大部分研究仅对单一地区建立预测模型,鲜有文献考虑地区间疫情传播的关联性来开展医疗物资需求预测研究。因此,如何刻画医疗物资供应与疫情演化的耦合关系以及不同地区疫情演化的相互影响过程,是医疗物资需求预测研究需要解决的问题。

3.2 医疗物资的转扩产政策

医疗物资转扩产是保障医疗物资可持续性供应的有效途径。通常情况下,政府需要根据疫情的演变制定财政性支持政策以及便利性政策动员企业合理转扩产医疗物资。对新冠肺炎疫情防控中现有医疗物资转扩产的支持政策,以及文献中医疗物资转扩产政策的相关研究进行总结,见表3。

文献中医疗物资转扩产主要政策与建议为:(1) 政府要求企业转扩产,并提供财政与便利性支持政策。我国发布的《关于发挥政府储备作用支持应对疫情紧缺物资增产增供的通知》中提出对转扩产企业提供税收优惠、补贴、兜底采购等政策^[24]。根据美国《国防生产法(Defense Production Act, DPA)》的规定,政府可以动用行政权力要求企业生产

表 2 新冠疫情下的医疗资源需求预测研究^[7-22]

预测方法*	资源类型*	预测模型的影响因素	作者(年份)	
没有考虑疫情演化	指数模型	ICU 床位	人口总数, 现有病例数	Remuzzi 和 Remuzzi ^[7] (2020)
没有考虑疫情演化	统计模型	医院床位	基于年龄结构的人口数量, 现有病例数	Verhagen et al. ^[8] (2020)
没有考虑疫情演化	统计模型	防护口罩	教育人口、商业人口、医护人员数量, 社会距离	Lee et al. ^[9] (2020)
没有考虑疫情演化	统计模型	呼吸机、ICU 床位	现有病例数, 社会距离	Barret et al. ^[10] (2020)
考虑疫情演化	SIR 模型	呼吸机、ICU 床位	人口总数, 现有病例数	Weissman et al. ^[11] (2020)
考虑疫情演化	SEIR 模型	医院床位、呼吸机等	人口总数, 现有病例数, 社会距离, 防控效果	Rainisch et al. ^[12] (2020); 张婷等 ^[13] (2020)
考虑疫情演化	SEIR 模型	医护人员、ICU 床位	人口总数, 现有病例数, 社会距离, 病例隔离	Semenova et al. ^[14] (2020); Swiler et al. ^[15] (2020); Fox et al. ^[16] (2020)
考虑疫情演化	SIRD 模型	呼吸机	人口总数, 现有病例数, 封锁措施	Fanelli et al. ^[17] (2020)
考虑疫情演化	基于年龄的 SEIHR 模型	ICU 床位	基于年龄结构的人口数量, 现有病例数, 自我隔离	Shoukat et al. ^[18] (2020)
考虑疫情演化	蒙特卡洛仿真、IHRD 模型	医院病床	人口总数, 现有病例数, 封锁措施	Bollon et al. ^[19] (2020)
考虑疫情演化	基于个体的仿真模型	医院床位、ICU 床位	基于年龄结构的人口数量, 现有病例数	Ferguson et al. ^[20] (2020)
考虑疫情演化	混合预测模型	食品	人口总数, 现有病例数, 死亡病例数, 旅行禁令	Nikolopoulos et al. ^[21] (2020)
考虑疫情演化	多周期贝叶斯序贯决策模型	N95 口罩	人口总数, 现有病例数	葛洪磊和刘南 ^[22] (2020)

* ICU=intensive care unit (重症监护病房); SIR=Susceptible—Infected—Removed(易感—感染—移出); SEIR=Susceptible—Exposed—Infectious—Removed(易感者—潜伏者—感染者—移出); SIRD=Susceptible—Infectious—Recovered—Dead(易感—感染—复原—死亡); SEIHR=Susceptible—Exposed—Infectious—Hospitalized—Removed(易感—潜伏—感染—住院—移出); IHRD=Infectious—Hospitalized—Recovered—Dead(感染—住院—复原—死亡)。

紧急物资,如要求汽车制造商等有呼吸机生产能力的企业实现转产等,并提供资金与技术支持,以最大限度地提高产能。同时,要求供应商确保生产商所需原材料的供给^[25]。(2)放宽生产标准。新冠肺炎疫情防控下,美国工厂每月生产的数百万个 N95 口罩中大多数没有达到美国食品药品监督管理局的标准^[25]。政府取消了该标准,指出由美国国家职业安全与健康研究所批准的 N95 口罩可以由医护人员使用。通过放宽口罩生产标准,扩大口罩的供应。(3)优化生产工艺并充分利用现有可替代供应链^[27]。如简化医学面罩设计,易于生产,并减少所需培训;利用 3D 打印技术生产时效性较高的零部件,如鼻咽拭子、面罩与呼吸机零部件等,提高生产效率^[28, 31-32]。(4)公布口罩、防护服等生产与测试标准^[28],提供消毒液等产品标准化成分和配方产品开发的指南^[30],避免市场上出现大量不合格产品。

通过分析看出,目前文献主要以定性的方式给出医疗物资转扩产支持政策,重在鼓励企业在疫情

爆发期全力释放产能。鲜有文献对疫情稳定期与恢复期医疗物资转扩产产能优化进行研究。医疗物资价格管控、税收优惠与财政补贴是调节医疗物资生产产能的主要措施。如何基于疫情的演变,分析医疗机构与公众、转扩产企业及政府三者之间的演化博弈,设计动态的医疗物资价格管控、税收优惠与财政补贴优化机制,实现疫情爆发期、稳定期与恢复期医疗物资转扩产产能与需求均衡,是医疗物资转扩产政策设计需要研究的关键问题。

3.3 互联网环境下的社会捐赠医疗物资供需匹配

社会捐赠是社会民众或单位为了救助灾害、救济贫困、扶助残疾人等困难社会群体和个人、资助科教文卫事业与环境保护,以及社会公共设施建设和慈善事业而进行的自觉、自愿的无偿捐赠^[34]。根据捐赠者是否指定受助人可以将社会捐赠分为定向捐赠和非定向捐赠。定向捐赠医疗物资供需匹配的关键是供需信息的有效对接,非定向捐赠医疗物资供需匹配的关键是医疗物资的合理分配。互联网能够

表3 转扩产政策^[24-33]

医疗物资	医疗物资	政策	作者(年份)
医疗防护物资、 医疗药品	防护服、口罩、护目镜、核酸 检测试剂盒、体温检测仪等	税收优惠、补贴、兜底采购等财政性支持 政策与便利性支持政策	《关于发挥政府储备作用支持应 对疫情紧缺物资增产增供的 通知》(发改运行[2020]184号) ^[24]
医疗防护物资	口罩	适当降低生产和使用标准,开通注册审批 绿色通道	Ranney et al. ^[25] (2020)
医疗防护物资	口罩	加强全球范围内对于聚合物降解和稳定 性领域的研发	Dargaville et al. ^[26] (2020)
医疗防护物资	口罩	改进生产工艺,简化口罩设计,选择可替 代供应链	Shokrani et al. ^[27] (2020)
医疗防护物资	防护服	改进生产工艺,选择可替代供应链	Shokrani et al. ^[27] (2020)
医疗防护物资	手套	公布生产与测试标准(同时适用于口罩、 防护服)	Salmi et al. ^[28] (2020)
医疗防护物资	洗手液	有期限地放松“环境管制要求”(同时适用 于口罩、防护服)	朱军 ^[29] (2020)
医疗药品	药剂		
医疗药品	手部消毒产品	发布标准化成分和配方产品开发指南	Berardi et al. ^[30] (2020)
医疗药品	鼻咽拭子	采用3D打印技术	Salmi et al. ^[28] (2020)
			Iyengar et al. ^[31] (2020)
			Manero et al. ^[32] (2020)
医疗救治器械	呼吸机及其零部件等	采用3D打印技术	Ranney et al. ^[25] (2020)
医疗救治器械	呼吸机及其零部件等	激活《国防生产法》(Defense Production Act, DPA),动用行政权力扩大生产规 模,并提供资金支持	Greenspoon 和 Class ^[33] (2020)

提高信息沟通的效率,有效解决信息不对称问题。互联网平台已成为社会捐赠医疗物资供需匹配的主要载体,供需信息的识别与匹配方法和互联网平台的分配模式则是需要关注的新问题。

Cook 和 Lodree 指出社会捐赠物资在质量与供应到达时间上具有高度的不确定性^[35]。因此,供需信息及时精准地对接才能实现捐赠医疗物资供需的有效匹配。互联网平台下,社会捐赠医疗物资供需匹配的核心是利用信息处理技术实现供需信息的识别与自动匹配,而社交媒体作为灾后供需信息发布的媒介,是灾后供需信息数据的来源。许多学者基于社交媒体上的灾后供需信息数据展开了研究,以下从识别/匹配因素、方法与数据集三个方面对灾后供需信息识别与自动匹配的相关文献进行分析,如表4所示。

从上面的文献看,灾后供需信息识别与自动匹配研究中均只考虑物资种类和地理因素,运用相关的信息处理手段,实现社交媒体上社会捐赠物资信息和需求信息的有效匹配。但在实际的社会捐赠医疗物资供需对接中,医疗物资标准不统一、供应不及时、物流信息缺失都会降低医疗物资的对接效率。因此,如何结合相关数据处理技术,根据医疗物资标

准、需求时间和物流信息等关键指标进行捐赠医疗物资供需信息的获取和匹配,实现医疗物资的有效对接是一个关键问题。

医疗物资分配是指政府或市场如何公平且高效地在不同地区、医疗机构和人群中分配,从而实现医疗物资的社会效益和经济效益最大化。互联网环境下的社会捐赠医疗物资分配是面向医疗机构的分配,围绕公平性和效用最大化目标满足医疗机构的应急需求,使得捐赠医疗物资在救治与防护中发挥最大作用。

在公共卫生领域,对于医疗物资传统分配模式的研究大多围绕公平性和功利性原则对稀缺药物^[42]、疫苗^[43, 44]、个人防护装备^[45]和呼吸机^[46]等医疗物资展开讨论。基于互联网平台的医疗物资分配模式的研究则主要围绕捐赠器官展开。Vázquez—Salceda 等基于捐赠人体组织与器官的保存时长特性提出了互联网平台下人体组织和器官的分配模式^[47]。Kilambi 和 Mehrotra 提出了用于社区研究和开发肝脏分配策略的模拟平台^[48]。López—Álvarez 等指出基于平台的捐赠器官分配模式能够有效提高移植器官的分配效率、安全性、快速性和质量^[49]。在互联网时代,通过互联网平台上进行社会

表 4 灾后供需信息识别与自动匹配研究^[36-41]

研究内容	识别/匹配因素	识别/匹配方法	数据集	作者(年份)
供需信息识别	资源种类	正则表达式	基于多个灾害关键词收集的相关推特	Purohit et al. ^[36] (2013)
供需信息识别	资源种类	社交媒体识别工具	海地地震、日本地震和桑迪飓风相关推特	Purohit et al. ^[37] (2014)
供需信息识别	资源种类	基于词嵌入的检索方法	尼泊尔和意大利地震相关推特	Basu et al. ^[38] (2017)
供需信息识别	资源种类与地理位置	自然语言处理技术	日本地震相关推特	Varga et al. ^[39] (2013)
供需信息识别	资源种类与地理位置	非监督分类方法和多种词嵌入技术	尼泊尔和意大利地震相关推特	Dutt et al. ^[40] (2019)
供需信息自动匹配	资源种类	正则表达式与文本特征向量的监督分类方法	基于多个灾害关键词收集的相关推特	Purohit et al. ^[36] (2014)
供需信息自动匹配	资源种类	简单名词重叠、本地词嵌入与预训练词嵌入方法	尼泊尔和意大利地震相关推特	Basu et al. ^[41] (2018)
供需信息自动匹配	资源种类与地理位置	自然语言处理技术	日本地震相关推特	Varga et al. ^[39] (2013)
供需信息自动匹配	资源种类与地理位置	非监督分类方法和多种词嵌入技术	尼泊尔和意大利地震相关推特	Dutt et al. ^[40] (2019)

捐赠医疗物资分配的应用模式已有不少。然而,学术界鲜有研究探讨重大突发公共卫生事件下社会捐赠医疗物资的平台分配模式。因此,如何结合互联网平台特点和捐赠医疗物资的自身特性,围绕公平和效率等目标,设计面向医疗机构的医疗物资平台分配模式也需要进一步研究。

4 对策与建议

4.1 考虑物资供应与疫情演化耦合关系的需求预测

在重大传染病疫情下,医疗物资需求预测对于政府制定科学的疫情防控决策而言至关重要。虽然要实现医疗物资需求的准确预测是十分困难的,但基于疫情演化的医疗物资需求预测仍然是疫情防控政策制定的主要依据。

要实现医疗物资需求的精准预测,不但要考虑疫情演化对物资需求的影响,还需要研究物资供应与疫情演化的耦合规律,进而研究基于物资供应与疫情演化耦合关系的需求预测方法。从应用层面来看,要结合地区人口结构、防控措施等特征,考虑物资供应情况和关键时间节点发生的重大事件等因素,建立不同地区、分阶段的医疗物资需求时空预测模型,并对影响模型预测的疫情信息、流行病学数据进行动态观测与更新,建立动态需求预测系统,实现医疗物资需求滚动预测,提升医疗物资需求预测的

稳健性和准确性,为医疗物资的合理供应与科学配置提供决策依据。

4.2 完善疫情演变下医疗物资转扩产产能调节机制

在新冠肺炎疫情防控中,医疗物资转扩产是医疗物资供给的重要保障。但疫情后期,医疗物资生产产能结构性过剩是医疗物资转扩产供给机制面临的主要问题,即生产水平不高、未能达到标准的医疗物资生产企业面临因需求骤减而关停的困境。

因此,需要研究基于疫情演变的医疗物资转扩产产能调节机制,包括医疗物资价格管控、税收优惠与补贴政策等。通过调研与数据分析,探讨影响医疗物资采购的主要因素,如医疗物资稀缺性、恐慌心理以及供应滞后时间等;以及企业医疗物资定价的影响因素,包含利润、社会责任意识、企业形象以及政府政策等。基于此,建立医疗物资采购效用模型与企业收益模型,挖掘需求者恐慌性采购以及企业哄抬物价、囤货居奇行为的机理。以社会福利最大化为目标,确定在疫情演变的不同阶段中,医疗物资价格、税收优惠或财政补贴的合理区间、最优值及相应的时间节点。

4.3 搭建基于互联网的社会捐赠医疗物资供需平台

随着信息技术的发展,互联网平台作为提高社会捐赠医疗物资供需对接速度的新手段,在社会捐

赠医疗物资供需对接过程中发挥着重要作用。互联网平台能够突破时间和空间的限制,有效整合捐赠医疗物资供需信息,实现供需信息的共享与快速对接,解决信息不对称问题。

建立基于互联网的社会捐赠医疗物资供需平台,将分散的医疗机构需求信息和民间捐赠信息统一发布在平台上,同时规范医疗物资种类、数量、医疗标准等信息,整合各地的物流渠道信息,根据医疗物资种类、数量、医疗标准、需求时间和物流信息等关键指标实现社会捐赠医疗物资供需信息自动匹配与精准对接。同时,设置合理的重大突发公共卫生事件下医疗机构应急需求优先级评估的指标体系,包括医院确诊人数、轻重症患者人数、传染病床数、医护人员数量等指标,围绕公平性和效用最大化目标,设计合理的面向医疗机构的社会捐赠医疗物资的平台分配模式。

5 结 语

重大突发公共卫生事件下,医疗物资需求激增,供应严重短缺,市场机制失效。医疗物资储备、转扩产与社会捐赠是政府主导下医疗物资供应的主要方式。精准的医疗物资需求预测是做好医疗物资供应工作的基础,其关键是考虑医疗物资供应与疫情演化耦合关系的需求预测方法。通过转扩产支持政策,实现医疗物资生产产能扩大,从而增加医疗物资的供给,是政府应对重大突发公共卫生事件最有效的措施,但需要研究医疗物资需求动态变化下的转扩产政策设计方法。社会捐赠是医疗物资供应的重要补充,特别是疫情初期,缓解了医疗物资需求的紧迫性,需要深入研究互联网环境下社会捐赠医疗物资供需匹配与分配问题。这些问题的研究将完善我国医疗物资供应保障机制,进一步提升重大突发公共卫生事件的应对能力。

参 考 文 献

- [1] 黄浩, 易小梅, 何小燕. 建立区域化抗灾应急医疗物资供应体系探讨. 中国护理, 2009, 9(12): 69—71.
- [2] 吴佳佳. 医疗物资产能基本满足国内需求. (2020-04-09)/[2020-11-08]. http://www.xinhuanet.com/fortune/2020-04/09/c_1125830462.htm.
- [3] Mei C. Policy style, consistency and the effectiveness of the policy mix in China's fight against COVID-19. Policy and Society, 2020, 39(3): 309—325.
- [4] 黄康熙. 健全应急医疗物资储备体系. (2020-05-28)/[2020-11-08]. http://www.moj.gov.cn/Department/content/2020-05/28/613_3249594.html.
- [5] Soyiri IN, Reidpath DD. An overview of health forecasting. Environmental Health and Preventive Medicine, 2013, 18(1): 1—9.
- [6] Ordu M, Demir E, Tofallis C. A comprehensive modelling framework to forecast the demand for all hospital services. The International Journal of Health Planning and Management, 2019, 34(2): e1257—e1271.
- [7] Remuzzi A, Remuzzi G. COVID-19 and Italy: what next?, The Lancet, 2020, 395(10231): 1225—1228.
- [8] Verhagen MD, Brazel DM, Dowd JB, et al. Forecasting spatial, socioeconomic and demographic variation in COVID-19 health care demand in England and Wales. BMC Medicine, 2020, 18(1): 1—11.
- [9] Lee ES, Chen YY, McDonald M, et al. Dynamic response systems of healthcare mask production to COVID-19: a case study of Korea. Systems, 2020, 8(2): 18.
- [10] Barrett K, Khan YA, Mac S, et al. Estimation of COVID-19-induced depletion of hospital resources in Ontario, Canada. Canadian Medical Association Journal, 2020, 192(24): e640—e646.
- [11] Weissman GE, Crane-Droesch A, Chivers C, et al. Locally informed simulation to predict hospital capacity needs during the COVID-19 pandemic. Annals of Internal Medicine, 2020, 173(1): 21—28.
- [12] Rainisch G, Undurraga EA, Chowell G. A dynamic modeling tool for estimating healthcare demand from the COVID-19 epidemic and evaluating population-wide interventions. International Journal of Infectious Diseases, 2020, 96: 376—383.
- [13] 张婷, 吴洪涛, 王凌航, 等. 基于情景模拟的新型冠状病毒肺炎医疗资源需求快速评估研究. 中华流行病学杂志, 2020, 41: e059.
- [14] Semenova Y, Glushkova N, Pivina L, et al. Epidemiological characteristics and forecast of COVID-19 outbreak in the republic of Kazakhstan. Journal of Korean Medical Science, 2020, 35(24): e227.
- [15] Swiler LP, Portone T, Beyeler WE. Uncertainty analysis of resource demand model for COVID-19, SAND-2020-4900 686095. Albuquerque: Sandia National Lab, 2020.
- [16] Fox GJ, Trauer JM, McBryde E. Modelling the impact of COVID-19 upon intensive care services in New South Wales. The Medical Journal of Australia, 2020, 212(10): 468—469.
- [17] Fanelli D, Piazza F. Analysis and forecast of COVID-19 spreading in China, Italy and France. Chaos, Solitons & Fractals, 2020, 134: 109761.

- [18] Shoukat A, Wells CR, Langley JM, et al. Projecting demand for critical care beds during COVID-19 outbreaks in Canada. *Canadian Medical Association Journal*, 2020, 192(19): e489—e496.
- [19] Bollon J, Paganini M, Nava CR, et al. Predicted effects of stopping COVID-19 lockdown on Italian hospital demand. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 2020; 1—15.
- [20] Ferguson N, Laydon D, Nedjati-Gilani G, et al. Report 9: Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand. London: Imperial College London, 2020.
- [21] Nikolopoulos K, Punia S, Schäfers A, et al. Forecasting and planning during a pandemic: COVID-19 growth rates, supply chain disruptions, and governmental decisions. *European Journal of Operational Research*, 2020, In Press.
- [22] 葛洪磊, 刘南. 重大传染病疫情演化情境下应急物资配置决策建模分析:以新冠肺炎疫情为例. *管理工程学报*, 2020, 34(3): 214—222.
- [23] Prasse B, Achterberg MA, Ma L, et al. Network-inference-based prediction of the COVID-19 epidemic outbreak in the Chinese province Hubei. *Applied Network Science*, 2020, 5(1): 1—11.
- [24] 发展改革委, 财政部, 工业和信息化部. 关于发挥政府储备作用支持应对疫情紧缺物资增产增供的通知(发改运行〔2020〕184号). (2020-02-07)/[2020-11-08]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-02/10/content_5476852.htm.
- [25] Ranney ML, Griffith V, Jha AK. Critical supply shortages—the need for ventilators and personal protective equipment during the COVID-19 pandemic. *New England Journal of Medicine*, 2020, 382(18): e41.
- [26] Dargaville T, Spann K, Celina M. Opinion to address a potential personal protective equipment shortage in the global community during the COVID-19 outbreak. *Polymer Degradation and Stability*, 2020, 176: 109162.
- [27] Shokrani A, Loukaides EG, Elias E, et al. Exploration of alternative supply chains and distributed manufacturing in response to COVID-19: a case study of medical face shields. *Materials & Design*, 2020, 192: 108749.
- [28] Salmi M, Akmal JS, Pei E, et al. 3D printing in COVID-19: productivity estimation of the most promising open source solutions in emergency situations. *Applied Sciences*, 2020, 10(11): 4004.
- [29] 朱军. 减低“新冠肺炎疫情”影响的公共对策研究. *公共财政研究*, 2020, (1): 4—12.
- [30] Berardi A, Perinelli DR, Merchant HA et al. Hand sanitisers amid COVID-19: a critical review of alcohol-based products on the market and formulation approaches to respond to increasing demand. *International Journal of Pharmaceutics*, 2020, 584(119431): 1—14.
- [31] Iyengar K, Bahl S, Vaishya R, et al. Challenges and solutions in meeting up the urgent requirement of ventilators for COVID-19 patients. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 2020, (14): 499—501.
- [32] Manero A, Smith P, Koontz A, et al. Leveraging 3D printing capacity in times of crisis: recommendations for COVID-19 distributed manufacturing for medical equipment rapid response. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(13): 4634.
- [33] Greenspoon LR, Class RD. Defending the producers: examining product liability protection for compelled manufacturing under the defense production act. *Defense Counsel Journal*, 2020, 87(3), 1—18.
- [34] 庞凤喜, 燕洪国. 论社会捐赠的制度激励与保护——5·12汶川地震社会捐赠引发的思考. *现代财经: 天津财经学院学报*, 2008, 28(9): 14—19.
- [35] Cook RA, Lodree EJ. Dispatching policies for last-mile distribution with stochastic supply and demand. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2017, 106: 353—371.
- [36] Purohit H, Castillo C, Diaz F, et al. Emergency-relief coordination on social media: automatically matching resource requests and offers. *First Monday*, 2014, 19(1).
- [37] Purohit H, Hampton A, Bhatt S, et al. Identifying seekers and suppliers in social media communities to support crisis coordination. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 2014, 23(4—6): 513—545.
- [38] Basu M, Ghosh K, Das S, et al. Identifying post-disaster resource needs and availabilities from microblogs// 2017 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM). Sydney: IEEE, 2017: 427—430.
- [39] Varga I, Sano M, Torisawa K, et al. Aid is out there: looking for help from tweets during a large scale disaster// Proceedings of the 51st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers). Sofia: Association for Computational Linguistics, 2013: 1619—1629.
- [40] Dutt R, Basu M, Ghosh K, et al. Utilizing microblogs for assisting post-disaster relief operations via matching resource needs and availabilities. *Information Processing & Management*, 2019, 56(5): 1680—1697.

- [41] Basu M, Shandilya A, Ghosh K, et al. Automatic matching of resource needs and availabilities in microblogs for post-disaster relief// Companion Proceedings of the The Web Conference 2018. Lyon: International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2018: 25—26.
- [42] DeJong C, Chen AH, Lo B. An ethical framework for allocating scarce inpatient medications for COVID-19 in the US. *The Journal of the American Medical Association*, 2020, 323(23): 2367—2368.
- [43] Saunders B. Equality in the allocation of scarce vaccines. *Les Ateliers de L'éthique/The Ethics Forum*, 2018, 13(3): 65—84.
- [44] Medlock J, Galvani AP. Optimizing influenza vaccine distribution. *Science*, 2009, 325(5948): 1705—1708.
- [45] Binkley CE, Kemp DS. Ethical rationing of personal protective equipment to minimize moral residue during the COVID-19 pandemic. *Journal of the American College of Surgeons*, 2020, 230(6): 1111—1113.
- [46] Zaza S, Koonin LM, Ajao A, et al. A conceptual framework for allocation of federally stockpiled ventilators during large-scale public health emergencies. *Health Security*, 2016, 14(1): 1—6.
- [47] Vázquez-Salceda J, Cortés U, Padget J. Integrating the organ and tissue allocation processes through an agent-mediated electronic institution// *Catalonian Conference on Artificial Intelligence*. Berlin: Springer, 2002: 309—321.
- [48] Kilambi V, Bui K, Mehrotra S. LivSim: an open-source simulation software platform for community research and development for liver allocation policies. *Transplantation*, 2018, 102(2): 47—48.
- [49] López-Álvarez P, Caballero F, Willmott S, et al. CARREL: an internet platform for the distribution of human organs for transplantation. *Transplantation Proceedings*. 2005, 37(9): 3667—3668.

Problems and Countermeasures of Medical Material Supply in Major Public Health Emergencies

Du Lijing² Xia Xiang¹ Ying Huanqin¹ Qi Chao¹ Wang Hongwei^{1*}

1. School of Management, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074

2. School of Safety Science and Emergency Management, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070

Abstract Based on the scarcity, timeliness, and irreplaceability of medical material in major public health emergencies, we reviewed the medical material supply work in response to COVID-19 in Wuhan, and proposed three main practical problems, which were the unpredictable demand for medical material, the failure of the market-led supply mechanism and the difficulty in timely matching the supply and demand of medical material. On this basis, a government-led diversified supply mode of medical material was proposed. This article put forward the research frontiers of medical material demand forecasting, supply mode and supply and demand matching. Corresponding countermeasures and suggestions were given.

Keywords major public health emergencies; medical material; demand forecast; supply mode; matching of supply and demand

(责任编辑 张强)

* Corresponding Author, Email: hwwang@hust.edu.cn