

疫苗接种对传染病流行的影响评估

Assessment of the impact of vaccination on infectious disease epidemics

马成娇

Ma Chengjiao

(宁海县第二医院 浙江宁海 315600)

(Ninghai County Second Hospital, Zhejiang Ninghai 315600)

摘要: 传染病的流行危害人类生存,同时会对人类社会经济,文化等发展造成一定程度的冲击,文献中曾提到 Antonine 瘟疫的大肆流行给当时罗马的各个领域造成了毁灭性打击,自公元 600 年来“黑死病”也即淋巴腺鼠疫曾在欧洲有着四次大流行,在此期间造成了大规模的人口衰减.WHO 曾有报告指出传染病仍是人类的第一杀手.比如如今由 COVID-19 引起的新冠肺炎疫情便对世界范围内的经济增长等造成了重大的冲击,并在全球范围内造成了几百万人的死亡.因此,找到合适的方法对传染病的传播模式进行研究和预测是十分有必要的.一直以来,学者们对传染病的流行进行了数学建模,结合不同疾病的特点建立仓室模型,对减少流行病的影响起到了重要作用.

Abstract: the epidemic of infectious diseases harm human survival, at the same time to human social economy, cultural development caused a certain degree of impact, literature mentioned Antonine plague pandemic to the devastating areas of Rome, since 600 AD "black death" namely lymph gland plague had four pandemic in Europe, during this period caused a massive population attenuation. The WHO has reported that infectious diseases are still the first killer of human beings. For example, the COVID-19 outbreak caused by COVID-19 has had a major impact on global economic growth and caused millions of deaths around the world. Therefore, it is very necessary to find suitable methods to study and predict the transmission patterns of infectious diseases. Scholars have been mathematically modeling the epidemic of infectious diseases and establishing warehouse models combined with the characteristics of different diseases, which plays an important role in reducing the impact of epidemics.

关键词: 传染病; 疫苗接种; 影响

Key words: infectious diseases; vaccination; impact

一、绪论

(一) 研究背景

在过去的二十年间,人们在不断地探索和研究传染病的传播特性.复杂网络传播动力学的研究受到了人们的广泛关注,它的出现给研究传染病的传播特性提供了新的方法.人们利用复杂网络传播动力学的知识,从不同的方向、角度研究传染病的传播特性;另外从网络结构方面探索种群内各种拓扑结构对传染病传播的影响,其研究结果发现异质性的网络会加速种群内疾病的传播,甚至会导致传染病的传播阈值消失^[1,2].

人类行为方面,研究人员发现在疾病传播过程中,人们对自身采取保护措施可以避免被疾病感染.在中世纪的时候,致命的淋巴腺鼠疫大规模地爆发,造成多人死亡.后来人们发现通过远离病人及其密切接触者,可以避免被鼠疫感染.在 2003 年 SARS 爆发期间,许多市民自发地戴上口罩,一些学校暂时关闭,学生被强制要求呆在家里,尽可能地避免被 SARS 感染.2009 年 H1N1 禽流感爆发期间,政府对感染禽流感的家禽采取扑杀消毒掩埋的措施,对感染的个体进行隔离,阻止传染病的进一步传播.在许多其他传染病传播的时候,也有这样的情况.例如麻疹-腮腺炎-风疹(MMR),肺结核病(TB)和艾滋病(HIV)等传染病在传播时,人们采取接种疫苗等措施来对自身进行保护,从而抑制了传染病的传播.

(二) 研究目的及意义

在大多数的研究中常常假设疫苗是具有 100%效力,个体一旦接种疫苗,就拥有了绝对免疫,不会被传染病所感染.但是这与现实情况不符,疫苗不是完全有效的,疫苗可能因为运输、存储和使用不当等原因造成失效,接种个体不能获得免疫保护,还是有被疾病感染的风险.而且在疫苗接种博弈当中,疫苗接种决策是根据个体学习自己的邻居策略来决定是否接种疫苗.但是在现实社会中,有些人由于特殊的宗教信仰,观念等原因不愿意去学习他人的行为.因此,如何设计一个更符合现实的模型具有很大的挑战,也是本文研究的出发点.

二、疫情传播及其风险控制研究

(一) 疫情传播及其特点

新型冠状病毒肺炎(COVID-19)是一种能够在人与动物之间,人与人之间广泛传播,危害极大的传染病,其能够造成大规模蔓延和其特殊的传播特性有很大的关联.其中,COVID-19 在传播过程中

感染者具有较长的潜伏期,且潜伏期内存在较强的传染性,这使得感染患者短时间内不易被发现.COVID-19 的接触传播途径和形式决定了 COVID-19 传播范围很广,传播风险很高.目前学者对于新型冠状病毒肺炎的危害性及其传播特性已经有比较全面的研究,通过现有的实验数据和官方报道总结出 COVID-19 的传播特性,并从定性的角度评估了其传播特性带来的传染病风险,并建议根据其传播特性制定相应的防控策略抑制 COVID-19 的传播能力.从此可以看出新冠传播特性的研究对于防控疫情的蔓延具有十分重要的指导意义.

新型冠状病毒肺炎(COVID-19)能够在世界范围内的传播,除了其自身具有传播能力强、传播途径广泛、隐蔽性强等特点的原因外,还与世界各国的社会因素,经济因素等因素相关.社会因素方面,人口的密度、人口的流动、社会的文化环境、社会关系网络拓扑结构是传染病传播的重要影响因素^[3].根据人口流动性对加速新冠肺炎病毒扩散的促进作用,提出抑制 COVID-19 的传播可以通过抑制人口流动来实现的策略.处于社会关系网络中的个体之间存在着不可忽视的相互作用,在病毒传播过程中这种相互作用体现为空间距离的相近或者直接接触,而在这种社会关系网络中存在着“小世界”、“无标度”、“高聚类”的特性.而经济因素方面,经济的发展水平、疫情期间的经济政策都与疫情的传播规模、传播速率有很大的相关性,有相关研究发现高水平的经济发展水平在促进传染病传播方面具有潜在作用,因为该高水平的经济体往往具有先进的交通系统、人口密度较高的城市,更多的经济性人口流动.另一方面,疫情期间的经济政策也对新冠病毒的传播有较大的影响,根据统计数据显示:宽松的经济政策往往会导致较高的发病率.

(二) 疫情传播的风险控制

新型冠状病毒肺炎(COVID-19)疫情的广泛传播对社会各方面造成的极大的影响,比如极大地增加了社会的社会风险、经济风险、政治风险^[4].首先,由于 COVID-19 其具有严重危害性,对公众生命健康造成严重危害的同时会衍生社会恐慌,恐慌行为表现为抢购、出逃、骚乱等,这些行为对社会环境造成破坏的同时,也会对社会的经济造成严重的损失.其次,由于抗击疫情的需要,势必需要采取社交隔离的防治政策,疫情爆发区域广泛存在停工停产、限制人员流动的现象,这会直接降低经济的流通性从而使经济进入“寂静期”,因此中国乃至全世界都存在严重的消费萎缩和生产停

滞,中国国家经济乃至世界经济受到极大的冲击,甚至一些国家为保护本国经济直接与全球化脱钩,走上逆全球化的路线。政治层面,一些国家和地区,随着疫情的蔓延还会使民众与政府的关系恶化,政府的权威大幅下降,产生社会撕裂,社会不稳定因素增加。为了应对疫情带来的社会风险、经济风险、政治风险,诸多学者研究了如何相应的风险防控策略。其中有效的新冠疫苗接种以在社会层面形成群体免疫是防控新冠及其风险的长效解决方案。

三、疫苗特性及其接种策略研究

(一) 疫苗相关研究

有效的疫苗接种是防控疫情蔓延的必要措施,疫苗接种可以刺激人体产生相应的抗体预防感染,并在社会层面形成群体免疫避免传染病大规模的流行,因此疫苗的研制和接种策略的研究就显得十分重要^[5]。随着疫苗的研发成功,众多学者围绕疫苗的安全性和保护效果、疫苗接种的目标人群及其规模、疫苗接种的影响因素及疫苗接种策略优化等诸多领域展开了深入研究。

(二) 疫苗的安全性和保护效果

疫苗的安全性和保护效果方面,通过文献和统计数据的方式评估临床试验阶段的6个不同平台的COVID-19疫苗的安全性,研究发现接种者的年龄因素对于疫苗的安全性影响比较大。针对科兴新冠灭活疫苗,在2期临床试验5中评估了三针剂疫苗在不同年龄特征中表现出来的安全性、免疫原性以及免疫持久性。实验数据显示第二针剂接种的6个月后,中和抗体水平接种或者低于阳性检测阈值,其中60岁以上老年组在六个月内的抗体水平衰减速度显著大于18-59岁人群,但是通过第三针的加强免疫后,人体中和抗体会增加3-5倍,且加强免疫后的6个月内抗体水平下降速度明显减缓。目前,随着新冠病毒在全球范围内的广泛传播,出现了一些比原毒株感染能力更强的变异毒株,COVID-19疫苗的保护效果会因为变异毒株的产生和时间的推移而减弱,就目前来说,接种疫苗的个体并不能百分百的免疫新冠病毒的感染。

(三) 疫苗接种的目标人群及其规模

疫苗接种的目标人群及其规模方面,接种疫苗的首要目标是减少新冠肺炎感染并降低重症、死亡率,因此不少学者研究了疫苗在有限供应的情况下的优先接种人群及其接种规模,定义分层目标人群并估计其规模,在以往疫苗接种数据分析的基础上总结了优先接种人群及其规模。而也有相当一部分的学者在定量分析的基础上研究疫苗接种对目标人群的影响,这为疫苗接种策略的制定提供了科学的依据。MacIntyre在疫苗有限供应和疫苗大规模接种的条件下建立确定性数学模型研究疫苗接种策略,并研究了不同年龄层次的人群接种不同比例的疫苗对死亡率和疾病扩散率的影响,Russo通过统计分析,研究了确定COVID-19优先接种群体的策略,并通过LASSO交叉验证条件回归方法寻找影响死亡率的共因。

四、疫苗接种影响因素及其策略研究

(一) 疫苗接种的影响因素研究

疫苗接种的影响因素方面,涵盖多个方面的研究,例如疫苗接种的效益和经济成本之间的关系、信息传播与疫苗接种之间的相互影响。疫苗接种的效益和经济成本方面,二者之间存在着相互影响的关系,疫苗接种比例的增加势必会带来医疗卫生方面的经济成本,因此平衡疫苗接种的经济效益成本和疫苗接种比例之间的关系也十分重要,欧洲针对老人和儿童的27项疫苗接种计划的影响和成本效益,并用考虑年龄结构的动态传播模型研究成本效益对接种效果的影响。信息传播与疫苗接种方面,在自愿接种的大背景下,

信息传播直接关系到群众的接种意愿,由于不同个体对信息的敏感度也有所差异,个体在面对同一信息时做出的疫苗接种决策也会有所差异,因此研究信息传播对接种策略的制定就显得尤为重要。将个人对信息的敏感度和信息传播速率引入到多重网络,提出基于危机意识的SIR-SIRV模型,用SIR描述信息传播过程,用SIRV描述病毒网络的传播过程,根据危机信息和个体自身所处环境,制定个体最优接种策略。在考虑信息传播和传染病传播双重网络的基础上构建传播动力学模型,并在引入信息传播率和信息敏感性参数的基础上研究疫苗接种的决策行为并验证了中国政策决策行为的正确性,这为信息传播对于接种疫苗行为影响研究提供了新的方法、新的视角。

(二) 疫苗接种的策略研究

疫苗接种策略的研究涵盖多个方面,例如自愿接种下的动态接种策略、疫苗有限供应下的疫苗分配策略、疫苗接种最优控制模型构建等方面,考虑患病风险的策略更新机制SVIL,又在SVIL的基础上提出SBIL策略更新机制,研究患者预测患病风险并更新的策略对接种意愿的影响,并和经典的策略更新机制对比,两种策略更新机制在群体接种水平、群体中患病规模、社会成本等方面的发挥的作用。疫苗分配策略方面,将感染者无症状感染者(A)和无症状感染者(P),在考虑疫苗短缺的情形下,建立考虑疫苗接种的SEAPIRV模型,在模型的结果度量的基础上研究优化不同效力的疫苗分配策略的建模方法。疫苗接种最优控制模型方面提出了如何利用庞特里亚金最大值原理将SEIR传播动力学模型中转化为最优控制问题,从而为疫苗接种的最优控制策略的求解提供了一种方法。从疫情控制 and 经济效益两个角度出发,在前者的方法基础上又提出了在具有潜伏时滞机制的SEIR疫苗接种控制模型并对模型进行建模求解的方法,将其控制目标定义为:最少的感染者数量和最少的接种疫苗成本的组合。这些最优控制框架下的接种率轨迹能够以比较精确的数据指导在疫情爆发后如何在有限疫苗供给下接种疫苗。

五、总结

本文对疫苗的效力和疫苗恐慌信息传播是如何影响传染病的传播进行了研究分析,发现在自我更新规则下,无论是哪种网络模型,疾病开始传播时,网络中大部分个体会选择接种疫苗,处于免疫状态,疾病难以传播。而随着疫苗失效率的增大,接种个体极易从免疫状态变成易感状态,存在被疾病感染的风险,疾病可以大规模爆发。疫苗恐慌信息传播过程中,在高疫苗恐慌信息传播概率以及高疫苗失效率的情况下,网络中处于免疫状态的个体数少,疾病容易爆发。随着疾病传播概率增大,传染病将大规模爆发,网络中免疫状态的个体数大大降低。一旦疾病在人群中大规模传播,疫苗恐慌信息对传染病传播的影响会变得很小。

参考文献:

- [1]崔景安,马馨辰,吴玉翠.具有异质性的传染病模型及疫苗接种策略研究[J].应用数学学报,2023,46(04):549-564.
- [2]刘佳,崔景安.基于人口异质性和疫苗接种的传染病控制系统[J].数学的实践与认识,2023,53(05):153-163.
- [3]刘中凯,刘俊利,刘白茹.受媒体报道和疫苗接种影响的传染病模型分析[J].哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2022,38(04):442-449.
- [4]王芳,曹连英.一类具有检疫隔离和疫苗接种的新冠肺炎传染病模型分析[J].哈尔滨师范大学自然科学学报,2022,38(04):8-15.
- [5]艾明霞,王稳地.考虑潜伏感染和疫苗接种的传染病模型的稳定性[J].西南师范大学学报(自然科学版),2022,47(07):49-54.