

河南省新型冠状病毒肺炎疫情防控效果分析

李承倬^{1,2}, 冯敖梓¹, 武文韬^{1,2}, 潘振宇², 李筱³, 吕军^{1,2}, 徐安定¹

1. 暨南大学附属第一医院, 广东 广州 510630; 2. 西安交通大学, 陕西 西安 710061; 3. 青海卫生职业技术学院, 青海 西宁 810000

摘要: 目的: 通过构建河南省新型冠状病毒肺炎的 SIR 模型和基本再生数的变化趋势, 分析评价河南省的防控效果, 并针对疾病恢复期提供建议。方法: 选取河南省 2020 年 1 月 21 日至 2 月 19 日的疫情资料进行分析研究。使用 R(3.6.2) 来构建 SIR 模型, ode 函数用来求解微分方程, optim 函数用来优化模型。最终建立了河南省新型冠状病毒肺炎的流行趋势 SIR 图, 并将之与疾病实际流行过程对比。同时分析了 SIR 模型下和实际情况下的 R_0 变化趋势, 并利用指数平滑模型进行了预测。结果: SIR 模型峰值的感染人数大大超过了实际情况, 实际变化数据的 R_0 趋势图也低于 SIR 模型得出的 R_0 变化趋势图, 这说明河南省的疫情防控措施起了很大的作用, 有效避免了大量人群的感染。结论: 河南省针对此次新型冠状病毒肺炎疫情的防控措施有效地限制了疫情的扩散, 防治效果显著, 应继续做好疫情的针对性防控措施。文献引用: 李承倬, 冯敖梓, 武文韬, 等. 河南省新型冠状病毒肺炎疫情防控效果分析[J]. 中医学报, 2020, 35(3): 497-500.

关键词: 新型冠状病毒肺炎; SIR 模型; 基本再生数; 疫情防控; 防控效果

DOI: 10.16368/j.issn.1674-8999.2020.03.111

中图分类号: R256.1 文献标志码: A 文章编号: 1674-8999(2020)03-0497-04

Analysis Epidemic Prevention and Control Effect of COVID-19 in Henan

LI Chengzhuo^{1,2}, FENG Aozi¹, WU Wentao^{1,2}, PAN Zhenyu², LI Xiao³, LYU Jun^{1,2}, XU Anding¹

1. The First Affiliated Hospital to Jinan University, Guangzhou Guangdong China 510630; 2. Xi'an Jiaotong University, Xi'an Shaanxi China 710061; 3. Qinghai Vocational and Technical Institute of Health, Xining Qinghai China 810000

Abstract: Objective: By constructing corona virus disease 2019(COVID-19) SIR model and changing trend of basic reproduction number in Henan province, the prevention and control effect of Henan province was analyzed and evaluated, and suggestions were

[3] 王玉光, 齐文升, 马家驹, 等. 新型冠状病毒(2019-nCoV)肺炎中医临床特征与辨证治疗初探[J/OL]. 中医杂志, [2020-02-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2166.R.20200129.1258.002.html>.

[4] 范伏元, 樊新荣, 王莘智, 等. 从“湿毒夹燥”谈湖南新型冠状病毒肺炎的中医特点及防治[J/OL]. 中医杂志, [2020-02-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2166.r.20200206.1256.004.html>.

[5] 刘光华, 吴振起, 刘娟. 从湿毒论治雾霾环境下流感病毒感染[J]. 吉林中医药, 2018, 38(2): 181-184.

[6] HUANG C L, WANG Y M, LI X W, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China[J]. Lancet, 2020(20): 30183-30185.

[7] CHEN N S, ZHOU M, DONG X, et al. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in

Wuhan, China: a descriptive study[J]. Lancet, 2020, doi: 10.1016/S0140-6736(20)302117.

[8] 新华网. 抗击疫情·睿思这么看[EB/OL]. [2020-02-03]. http://www.xinhuanet.com/202001/29/c_1210455646.htm, 020-0129.

收稿日期: 2020-02-19

作者简介: 张传雷(1980-), 男, 河南商丘人, 主治医师, 研究方向: 中医药防治恶性肿瘤研究。

通信作者: 李彬(1982-), 男, 河南商丘人, 副主任医师, 主要从事中医药防治呼吸系统疾病的研究。E-mail: libin5563@126.com

编辑: 纪彬

provided for disease recovery period. Methods: The epidemic data from January 21 to February 19 in Henan province were analyzed and used R (3.6.2) to build SIR model, ode function to solve differential equation, optim function to optimize model. Finally, the SIR chart of the epidemic trend of COVID-19 in Henan province was established and compared with the actual epidemic process of the disease. At the same time, the change trend of R_0 under SIR model and actual situation is analyzed and the index smoothing model is used to predict. Results: The number of people infected at the peak value of SIR model has greatly exceeded the actual situation and the R_0 trend chart of the actual change data is also lower than the R_0 trend chart obtained by SIR model, which shows that the epidemic prevention and control measures in Henan province have played a great role in effectively avoiding the infection of a large number of people. Conclusion: The prevention and control measures for the COVID-19 epidemic in Henan province have effectively limited the spread of the epidemic and the prevention and control effect is significant. We should continue to take targeted prevention and control measures for the epidemic.

Reference citation: LI Chengzhuo, FENG Aozhi, WU Wentao et al. Analysis Epidemic Prevention and Control Effect of COVID-19 in Henan [J]. Acta Chinese Medicine, 2020, 35(3): 497–500.

Keywords: COVID-19; SIR model; basic regeneration number; epidemic prevention and control; prevention and control effect

2019年12月,湖北省武汉市出现了一种不明原因的肺炎。2020年1月7日,研究人员首次分离出了一种新型冠状病毒,也就是这次肺炎的病原体。2月11日,世界卫生组织将此种新型冠状病毒感染的肺炎命名为 (corona virus disease 2019, COVID-19) [1]。COVID-19 爆发于湖北,邻近的河南、安徽、江西等省也成为疾病高发地区。作为中国的人口大省,且紧邻湖北省,河南省面临的防疫压力较大。为了探究河南省疫情的真实防控效果,笔者利用 SIR 模型和基本再生数的变化来进行评估。

1 材料与方法

1.1 数据来源 选取河南省2020年1月21日至2月19日共30天的疫情资料进行分析研究。1月21日,国家卫生健康委确认河南省首例输入性新型冠状病毒感染的肺炎确诊病例[2]。截至2月19日24时,河南省累计报告新型冠状病毒肺炎确诊病例1265例(核减1例),累计死亡病例19例,累计出院病例614例[3]。本研究所用数据均来源于河南省卫生健康委员会官方网站。

1.2 建立 SIR 模型 SIR 模型是传染病模型中比较经典的模型,许多研究曾利用 SIR 模型进行 SARS、麻疹等疾病发展过程的探究[4-5]。Kermack 与 McKendrick 建立了 SIR 模型,并构建了一套理论[6]。在这个模型的理论下,总人群被分为三大类: S 代表易感者 (Susceptible),表示未感染疾病但易感的人群; I 代表感染者 (Infective),表示患病并可传播疾病的人群; R 代表移出者 (Removed),表示治愈并不被再次感染的人群。SIR 模型的构建基于3个必要的假设: ①人群中的总人口数保持不变,假设总人口数为 N ,则有 $N = S + I + R$ 。这表明模型不

考虑新生、死亡等使人口总数变动的因素。②感染者所能传染的易感者人数与易感者总数成正比,设比例系数为 β ,则可得出单位时间内总感染者人数为 βSI 。③移出者人数与感染者数量成正比,设比例系数为 γ ,则可得出单位时间内移出者数量为 γI 。由上面3个假设的定义,可以推出如下的微分方程组来描述疾病3种人群的变化情况。

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta SI}{N}, \quad \frac{dI}{dt} = \frac{\beta SI}{N} - \gamma I, \quad \frac{dR}{dt} = \gamma I$$

将1月21日定为河南省 COVID-19 发病的第1天。此时 $S = N - 1$, $I = 1$, $R = 0$ 。根据河南省2018年人口抽样调查统计,河南省2018年常住人口为9605万人[7],所以将 N 的初始值定为9605万人。使用 R (3.6.2) 来构建 SIR 模型, ode 函数用来求解微分方程, optim 函数用来优化模型。最终建立了河南省 COVID-19 的流行趋势 SIR 图,并将之与疾病实际流行过程对比。

1.3 基本再生数 R_0 基本再生数 (Basic reproduction number, R_0) 在流行病学中指的是一个感染者在其感染周期内平均能感染的人数。 $R_0 = 1$ 是疾病发展的一个重要临界点,一般情况下, $R_0 > 1$ 时表示疾病将爆发; $R_0 < 1$ 则表示疾病将逐渐消失。通过 SIR 模型的定义可以得出 $R_0 = \beta / \gamma$ 。分别做了 SIR 模型下和实际情况下的 R_0 变化趋势,并将两者进行对比,进一步说明河南省 COVID-19 的防控效果。

1.4 指数平滑法预测 R_0 在 R_0 实际变化情况的基础上,利用指数平滑模型预测了 R_0 的变化趋势。指数平滑法是由 Robert G. Brown 提出的一种发展趋势预测模型。Robert G. Brown 认为时间序列可以被合理地推延,最近的过去态势会在某种程度上持续到最近的未来[8]。使用 R (3.6.2) 构建了指数平滑模型,根据模型,可以分析疫情的走向并做出预测。

2 结果

2.1 SIR模型下河南省疫情的流行趋势 在不做干预的情况下,COVID-19 疫情的峰值大约在 70 天到来,随后逐渐下降。可以看出 SIR 模型峰值的感染人数大大超过了实际情况,这说明河南省的疫情防控措施起了很大的作用,有效避免了大量人群的感染。见图 1。

2.2 基本再生数的变化趋势对比 左侧是根据 SIR 模型得出的模拟情况下 R_0 的变化趋势图。在 SIR 模型下 COVID-19 的 R_0 值下降呈缓慢平滑下降趋势。在疫情初期, R_0 值达到了 5 以上,2 月 20 日 R_0 值为 1.7 左右。图 2 右侧则是利用 30 天的疫情实际变化数据做出的 R_0 的变化趋势图。可以看出,在河南省采取了相应公共卫生措施之后, R_0 值呈近

似直线下降,1 月 30 日 R_0 值已经降至 1.7 左右,到 2 月 20 日 R_0 值约降至 1.25。对比两种不同情况下的 R_0 变化趋势,不难得知河南省的防控措施大大降低了 COVID-19 的 R_0 值,有效限制了 COVID-19 疫情的传播,极大地控制了疫情受感染的人数。见图 2。

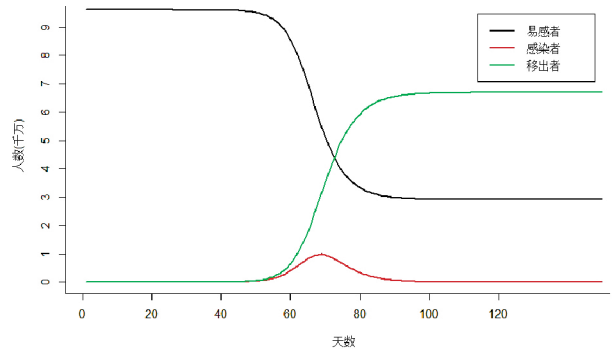


图 1 河南省新型冠状病毒肺炎的 SIR 模型

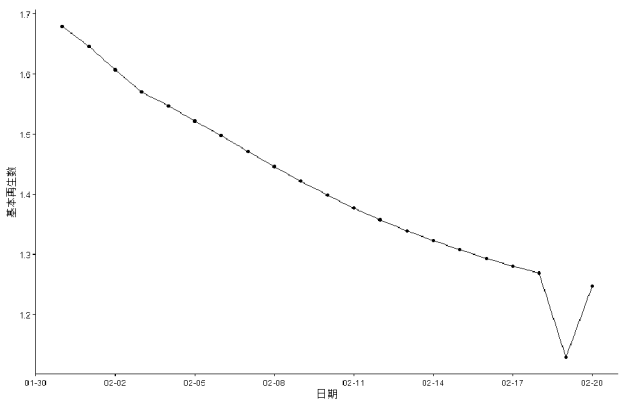
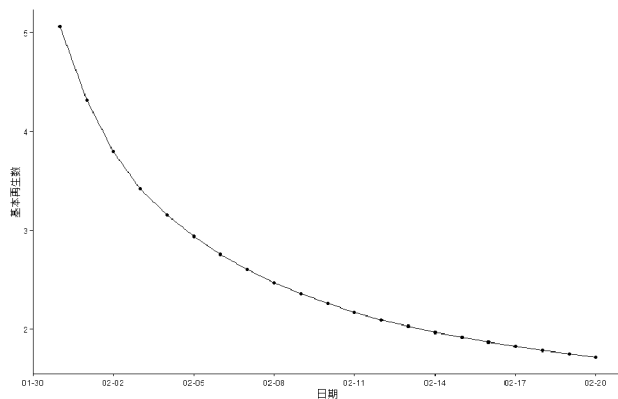


图 2 基本再生数的变化趋势对比

2.3 利用实际基本再生数的预测 根据 R_0 的实际变化情况,利用指数平滑法构建了 R_0 的初步预测模型(图 3)。可以得出在 3 月 6 日附近 R_0 值将至 1,意味着疫情将逐渐走向消亡。目前河南省的实际每日新增确诊人数已经降至 10 以下,随着防控措施的不断落实,确诊患者的有效隔离和治愈人数的上升,

疫情峰值很可能提前到达,只要继续做好相应的防护措施,疾病便可逐渐消亡。

3 讨论

本文构建了河南省 COVID-19 疫情的 SIR 模型,并对比分析了 SIR 模型下和实际情况下的 R_0 的变化值,最后利用 R_0 值的变化趋势对疫情的发展做出了简单的预测。利用上述方法,重在分析河南省现有的防控措施对于 COVID-19 疫情发展的重要作用。本文利用 SIR 模型以及 SIR 模型下 R_0 的变化情况,说明如果不采取严格的防控措施,疾病将比目前的情况更为恶劣,造成大规模的感染甚至死亡,提示严格的防控措施是十分必要的。

2020 年 1 月 21 日河南省输入首例 COVID-19 确诊病例,此后河南省人民政府便密切关注疫情形势,并于 1 月 25 日启动重大突发公共卫生事件一级响应^[9]。严格把控、深入乡镇、责任到人的防控措施使河南省这个人口大省有效限制了疾病的传播。

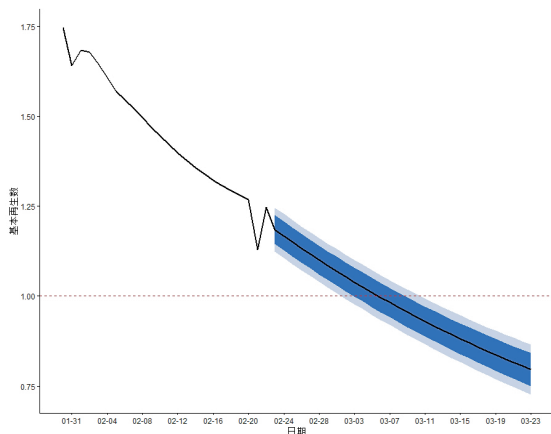


图 3 R_0 的初步预测模型

根据研究结果,河南省 COVID-19 疫情即将度过上升期,进入下降期。面对疫情恢复阶段,在做好现有防控措施的前提下,我们还应更加精细化防控,灵活应对不同的情况。针对疫情的恢复阶段,提出以下几点建议:①加强宣传教育,不可放松警惕。随着各地复工和即将复学的人群流动,疫情可能出现小幅提升,为了尽可能减少提升幅度,要继续做好正确防护措施的宣传,让公众的意识始终保持警觉,时刻注意防护,切断疾病的传播途径。②针对不同行业有序复工,不同学生群体分批复学。为了避免大量人群相互流通,可以采取省外、省内分批复工复学,尤其是疫情高发省份的人员流通,要尤为注意。③要求返岗、返校人员进行体温监测、疫情症状排查等措施,减少或避免集体活动,多利用网络完成信息的通知或召开会议。尽量减少人群的相互接触,工作、学习空间要充足,人与人间隔一米以上距离。④对于疫情过后的安排部署要结合实际,不能搞“一刀切”。要在充分评估的前提下制定恢复计划。学生的学习安排也要根据学生类型进行,不可过多加重学习负担,要合理安排学习进度。

本研究也存在一些不足之处。首先 SIR 模型只是流行病传播过程的一个简易模型,很多真实情况无法通过模型反映出来,模型假设的前提在真实情况中也无法实现。因此还有待用更为准确精细的模型来评估疫情的发展过程。其次,研究选取的数据是确诊患者的数据,可能存在无症状的感染者或者未被监测出来的患者。这也要求我们不断完善疫情监测体系,建立更加高效的公共卫生体系来应对类似的疾病发生。

综上所述,河南省针对此次 COVID-19 疫情的防控措施有效地限制了疫情的扩散,防治效果显著。随着确诊病例逐步下降,疫情带来的压力也会减轻。值得注意的是,在疫情的各个阶段应采取不同的措施,在疫情的恢复期也要继续做好针对性防控措施,防止疫情反弹。

参考文献:

- [1] 新华网. 世界卫生组织将新型冠状病毒感染的肺炎命名为“Covid-19” [EB/OL]. (2020-02-11) [2020-02-21]. http://www.xinhuanet.com/2020-02/11/c_1125561343.htm
- [2] 澎湃新闻. 河南确认首例输入性新型冠状病毒感染的肺炎确诊病例 [EB/OL]. (2020-01-21) [2020-02-21]. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_5588208
- [3] 河南省卫生健康委员会. 截至2月19日24时河南省新型冠状病毒肺炎疫情最新情况 [EB/OL]. (2020-02-20) [2020-02-21]. <http://hnwsjsw.gov.cn/contents/858/48613.shtml>
- [4] BANSAL S, GRENFELL B T, MEYERS L A. When individual behaviour matters: Homogeneous and network models in epidemiology. *J R Soc Interface*. 2007; 4 (16): 879-91. doi: 10.1098/rsif.2007.1100.
- [5] HETHCOTE H W. The mathematics of infectious diseases. *SIAM Rev*. 2000; 42 (4): 599-653. doi: 10.1137/s0036144500371907.
- [6] KEMACK W O, MCKENDRICK A G. CONTRIBUTIONS TO THE MATHEMATICAL-THEORY OF EPIDEMICS. 1. (REPRINTED FROM PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY, VOL 115A, PG 700-721, 1927). *Bull Math Biol*. 1991; 53 (1-2): 33-55. doi: 10.1016/s0092-8240(05)80040-0.
- [7] 河南省统计局. 2018年河南人口发展报告 [EB/OL]. (2019-06-14) [2020-02-21]. http://www.ha.stats.gov.cn/sitesources/hntj/page_pc/tjfw/zxfb/article23b7b91dd3ee4b32b76187a648b17ba2.html
- [8] Brown RG. Exponential smoothing for predicting demand [J]. *Oper Res*. 1957; 5 (1): 145.
- [9] 河南省人民政府. 河南省启动重大突发公共卫生事件一级响应 [EB/OL]. (2020-01-26) [2020-02-21]. www.henan.gov.cn/2020/01-26/1285076.html

收稿日期: 2020-02-21

作者简介: 李承倬 (1996-), 男, 陕西榆林人, 硕士研究生, 研究方向: 临床大数据挖掘, 流行病与卫生统计学。

通信作者: 徐安定, 主任医师, 博士研究生导师, E-mail: tll@jnu.edu.cn. 吕军, 特聘研究员, 博士研究生导师, E-mail: lyujun2019@163.com

编辑: 纪彬