

衡阳市新型冠状病毒肺炎流行病学特征分析及防控措施评估

唐琳, 罗强, 刘军, 朱玲, 戴蕾, 陈秋生

衡阳市疾病预防控制中心, 湖南 衡阳 421001

摘要: **目的** 描述和分析衡阳市新型冠状病毒肺炎(简称新冠肺炎, COVID-19)流行病学特征, 初步评估防控措施效果。**方法** 选取自《中国疾病预防控制中心信息系统》网络直报的衡阳市新冠肺炎确诊病例和无症状感染者数据, 回顾性描述衡阳市疫情概况、三间分布, 分析新冠肺炎流行特征; 使用 SIR (susceptible infected recovered) 模型, 并用 Python 求解微分方程, 根据预测值和实际值的差异评估衡阳市防控措施的有效性。**结果** 衡阳市从 2020 年 1 月 25 日报告首例确诊病例开始, 截至 3 月 2 日, 累计报告新冠肺炎确诊病例和无症状感染者 54 例, 其中无症状感染者 6 例 (11.11%); 输入病例 32 例 (59.25%), 本地病例 22 例 (40.75%); 男性病例 35 例, 女性病例 19 例, 男女比例 1.84 : 1; 年龄以 30~60 岁居多, 为 40 例 (74.1%); 职业分布中, 农民/农村务工人员占大多数为 18 例 (33.33%); 流行曲线显示确诊病例多集中在 1 月 23—30 日之间发病, 此后散在发生; 除南岳区外, 衡阳市所有县市区均有确诊病例; 患者临床表现多有发热, 共 44 例, 咳嗽 26 例; CT 检查有肺部影像学改变的 46 例 (95.83%); 将新冠肺炎疫情确诊数和出院数带入 SIR 模型, 实际确诊数较模型预测确诊数少, 提示衡阳市防控措施有效。**结论** 衡阳市疫情目前处于平缓下降时期, 这得益于防控措施的有力实施, 但随着境外病例输入的增多和本地复工复产学的人口流动扩大, 要进一步加强疫情监测和管理。

关键词: 新型冠状病毒肺炎; 流行病学特征; SIR 传染病模型; 防控措施

中图分类号: R563.1⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-3110(2020)08-0912-05 **DOI:** 10.3969/j.issn.1006-3110.2020.08.005

Epidemiological characteristics of coronavirus disease 2019 and evaluation of its prevention and control measures in Hengyang city

TANG Lin, LUO Qiang, LIU Jun, ZHU Ling, DAI Lei, CHEN Qiu-sheng

Hengyang Municipal Center for Disease Control and Prevention, Hengyang, Hunan 421001, China

Corresponding author: CHEN Qiu-sheng, E-mail: 2791091553@qq.com

Abstract: **Objective** To describe and analyze the epidemiological features of coronavirus disease 2019 (COVID-19) in Hengyang city, and to preliminarily evaluate the effectiveness of its prevention and control measures. **Methods** We selected COVID-19 confirmed cases and asymptomatic cases network-directly reported in Hengyang city from China Information System for Disease Prevention and Control, retrospectively described the three-dimensional distribution of epidemic situation in Hengyang city, and analyzed the epidemic characteristics of COVID-19. Susceptible infected recovered (SIR) model was used in this study, Python was employed to solve the differential equation, and the effectiveness of prevention and control measures in Hengyang city was evaluated according to the difference between the predictive value and the actual value. **Results** Fifty-four confirmed cases and asymptomatic cases were accumulatively reported in Hengyang city from January 25, 2020 when the first confirmed case was reported in Hengyang city to March 2, 2020, of which 6 (11.11%) cases were asymptomatic. 32 (59.25%) imported cases and 22 (40.75%) local cases were reported. There were 35 male cases and 19 female cases, and the male-to-female ratio was 1.84 : 1. Most of the cases (40/54, 74.1%) ranged in age from 30 to 60 years. Occupation distribution showed that the majority of the cases (18/54, 33.33%) were farmers/rural migrant workers. The epidemic curve revealed that the confirmed cases mainly occurred between January 23 and 30, and then occurred sporadically. All counties/cities/districts in Hengyang city reported confirmed cases except Nanyue district. The main clinical manifestation of the patients was fever (44/54), and 26 patients had a cough. Chest CT displayed 46 (95.83%) cases with patchy increased density shadow in lungs. The number of COVID-19 confirmed cases and the number of discharged cases were introduced into the SIR model, and the number of actually confirmed cases was less than the

作者简介: 唐琳 (1989-), 女, 湖南衡阳人, 硕士研究生, 主管医师, 研究方向: 疾病预防与控制。

通信作者: 陈秋生, E-mail: 2791091553@qq.com。

number of confirmed cases predicted by the model, indicating that prevention and control measures in Hengyang city were effective.

Conclusions The COVID-19 epidemic in Hengyang city shows a slowdown trend at present, which have benefited from effectively implementing prevention and control measures. It is still necessary to further enhance epidemic surveillance and management on account of the increase of importation of cases from abroad and the increasing population mobility due to local people going back to work and schools.

Key words: coronavirus disease 2019; epidemiological characteristic; susceptible infected recovered model; prevention and control measure

新型冠状病毒肺炎(简称新冠肺炎, COVID-19)是由新型冠状病毒感染而导致的一种新型肺炎^[1]。新型冠状病毒是一种 β 属冠状病毒,但其基因特征与 SARS-CoV 与 MERS-CoV 有显著区别。新冠肺炎的主要传播途径包括经呼吸道飞沫和接触传播,其他传播途径还有待明确^[2]。临床表现主要包括发热、乏力、干咳、气促等症状,严重者可导致死亡,由于其较强的传染性和致病性,新冠肺炎已于 2020 年 1 月 20 日被国家卫生健康委纳入《中华人民共和国传染病防治法》乙类传染病管理,并采取甲类传染病的预防和控制措施。目前,新冠肺炎在全球大流行,已经对全球公众健康和经济产生了重大的影响。

2020 年 1 月 21 日长沙市报告了湖南省首例新冠肺炎确诊病例,1 月 23 日湖南省启动重大突发公共卫生事件一级响应。1 月 25 日衡阳市首次确诊了 3 例新冠肺炎患者,截至 3 月 2 日 24 时,湖南省累计报告新冠肺炎确诊病例 1 018 例,衡阳市累计报告确诊病例 48 例和无症状感染者 6 例。为了解衡阳市新冠肺炎疫情的流行特征,本研究组对衡阳市 1 月 20 日—3 月 2 日期间的新新冠肺炎病例进行统计描述与分析,利用 SIR(susceptible infected recovered)模型能对疫情预测的特点,与实际确诊数对比,评估目前已采取的疫情防控措施的效果,为衡阳市疫情防控提供了重要参考。

1 资料与方法

1.1 数据来源 疫情个案信息和人口数据资料均来源于《中国疾病预防控制中心信息系统》传染病报告信息管理系统;报告日期从 2020 年 1 月 20 日—3 月 2 日,排除重卡,报告地为衡阳市。衡阳市疾病预防控制中心收集患者的人口学特征(包括性别、年龄、职业等)、发病时间、诊断时间和临床首诊信息以及核酸检测结果。

1.2 研究方法

1.2.1 疫情分析 采用描述性流行病学方法,对截至 3 月 2 日前全市新冠肺炎确诊病例和无症状感染者的流行特征进行描述。

1.2.2 防控措施评价 根据衡阳市新冠肺炎监测数据,利用 SIR 模型^[3],用建模预测值与实际发生数进行对比,从而评估防控措施的有效性。该方法的核心是利用微分方程对发病数据进行分析。其中有 3 个主要参数: S 是易感人群、 I 是感染人群和 R 是移除人群,即 SIR ,这 3 个参数都随时间 t 变化;设定单位时间内的易感人群为 $s(t)$,感染人群为 $i(t)$,恢复人群为 $r(t)$,感染系数为 β ,恢复系数为 γ ;可描述为如下微分方程的形式:

$$ds(t)/dt = -\beta s(t)i(t)$$

$$di(t)/dt = \beta s(t)i(t) - \gamma i(t)$$

$$dr(t)/dt = \gamma i(t)$$

利用 Python 进行求解分析和预测值,预测的关键在于感染系数 β 与恢复系数 γ 的取值。本文利用自 1 月 25 日起衡阳市报告的每日确诊人数和每日治愈人数估计感染系数 β ,以及查阅资料参考 SARS 的恢复周期为 22~25 d,估计此次新冠肺炎恢复系数 $\gamma \approx 0.04$,随后代入模型中拟合衡阳市的疫情发展趋势。由于当前人群处在的大环境不是一个完全易感人群和感染者完全混合的环境,故不能使用衡阳市的常住人口总量进行预测,需要估计易感人群的初始值 $S(0)$ 。本文使用最小二乘法估计易感感染人群初值 $S(0)$ 和感染系数 β 。最小二乘法估计的基本思路是先估计 $S(0)$ 和 β 的取值区间,然后寻找区间内计算得到预测值与真实值残差平方和最小的一组值作为估计值进行预测。参照衡阳市人口总数和官方公布的疫情防控措施,本方案 $S(0)$ 区间为 $[50, 100]$ 。最后使用 Python 软件编写程序,并做出可视化的预测结果折线图。

2 结果

2.1 疫情概述 截至 3 月 2 日 24 时,衡阳市累计报告新冠肺炎确诊病例和无症状感染者 54 例,其中确诊病例 48 例(88.89%),无症状感染者 6 例(11.11%);以输入性病例为主(32 例,59.25%),其中 30 例有湖北旅居史,另 2 例分别来自深圳和邵阳;本地感染病例 22 例,占 40.75%,见表 1。

表 1 衡阳市新冠肺炎确诊病例和
无症状感染者基本特征 (n, %)

基本特征	确诊病例 (n=48)	无症状感染者 (n=6)	合计 (n=54)
性别			
男	32 (66.67)	3 (50.00)	35 (64.81)
女	16 (33.33)	3 (50.00)	19 (35.19)
年龄组 (岁)			
10~	2 (4.17)	2 (33.33)	4 (7.41)
20~	6 (12.50)	1 (16.67)	7 (12.96)
30~	12 (25.00)	1 (16.67)	13 (24.07)
40~	12 (25.00)	1 (16.67)	13 (24.07)
50~	6 (12.50)	0 (0.00)	6 (11.11)
60~	7 (14.58)	1 (16.67)	8 (14.81)
70~	3 (6.25)	0 (0.00)	3 (5.56)
职业			
农民/农村务工人员	16 (33.33)	2 (33.33)	18 (33.33)
商人	9 (18.75)	0 (0.00)	9 (16.67)
干部职工	7 (14.58)	1 (16.67)	8 (14.81)
待业	6 (12.50)	1 (16.67)	7 (12.96)
学生	3 (6.25)	2 (33.33)	5 (9.26)
服务人员	4 (8.33)	0 (0.00)	4 (7.41)
退休人员	3 (6.25)	0 (0.00)	3 (5.56)
感染来源			
输入型病例	30 (62.50)	2 (33.33)	32 (59.25)
本地型病例	18 (37.50)	4 (66.67)	22 (40.75)

2.2 人群分布 病例中年龄最小 11 岁,最大 75 岁,中位数年龄 41 岁,其中 30~ 和 40~ 岁 26 例,占 48.14%;输入性病例主要集中在 30~40 岁 (19/32),本地病例主要集中在 40~50 岁 (9/22);男女性别比为 1.84 : 1;职业以农民/农村务工为主 (18 例,33.33%),其次为经商人员 (9 例,16.67%) 和职工 (8 例,14.81%),见表 1。

2.3 时间分布 流行曲线基本表现为双峰流行,确诊病例最早发病时间为 1 月 16 日,1 月 24 日单日发病数最多 (8 例),62.96% 的感染者集中在 1 月 23 日—30 日期间发病;1 月 30 日后发病数显著下降,虽偶有波动,但散在发生。输入性病例最早于 1 月 16 日发病,并在 1 月 24 日达到高峰,1 月 30 日后减少至零发病,2 月 8 日后再次出现 1 例,持续 3 d 后再无发生。本地病例随着输入病例的出现而发生,最早一例 1 月 18 日发病,1 月 30 日达到峰值 (4 例),呈零散出现,经过 12 d 零增长后,最后一例本地感染者 2 月 26 日发病,见图 1。

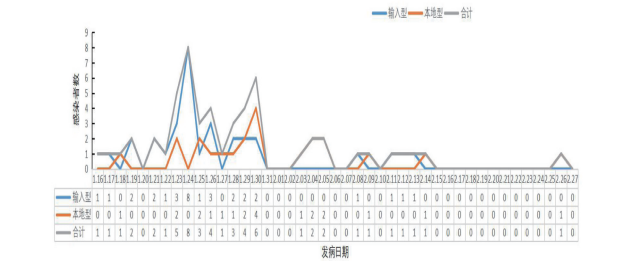


图 1 衡阳市新冠肺炎感染者发病时间流行曲线

2.4 地区分布 除南岳区外,衡阳市其余 11 个县市均有病例报告,主要分布在衡山县 (12 例,24.1%)、衡南县 (7 例,13%)、耒阳市 (7 例,13%),衡阳县、祁东县、蒸湘区各 6 例,衡东县 5 例,珠晖区 2 例,常宁市、雁峰区、石鼓区各 1 例;其中常宁市、石鼓区、珠晖区、雁峰区全部为输入性病例,衡东县、衡阳县、衡南县、耒阳市、衡山县输入性病例多于本地感染病例;而祁东县、蒸湘区以本地感染为主。

2.5 病例临床症状 (体征) 和核酸检测结果 48 例确诊病例首发症状表现为发热的有 44 例,咳嗽、咳痰或干咳 26 例,头痛或头晕 12 例,肌肉或关节酸痛 8 例,乏力 8 例,寒战 7 例,气促 4 例;胸部 CT 或者 X 检查提示肺部影像学改变的 46 例 (95.83%),可见不同程度的肺部阴影。54 例感染者中,均从咽拭子、鼻拭子或者痰液中首次或经过多次检测出新型冠状病毒核酸阳性,其中首次检测即阳性的有 41 例 (75.92%),第二次复核检出阳性的有 11 例 (20.37%),三次以上复核出阳性的有 2 例 (3.71%),见表 2。

表 2 衡阳市 48 例新冠肺炎确诊病例临床症状/体征和
54 例感染者核酸检测情况

项目	人数	百分比 (%)
首诊症状		
发热	44	91.67
咳嗽	26	54.17
乏力	8	16.67
气促	4	8.33
肌肉酸痛	8	16.67
头疼	12	25.00
寒战	7	14.58
肺部影像学		
有改变	46	95.83
暂无改变	2	4.17
核酸检测分布		
首次检测核酸阳性	41	75.92
第二次复核检测阳性	11	20.37
三次以上复核阳性	2	3.71

2.6 基于 SIR 模型的防控措施评估 收集整理衡阳市自 1 月 20 日起网络报告的疫情数据,由于疫情暴发前期并没有治愈病例,因此,以 1 月 25 日设为第 1 d (即图 2 的 0 处),将收集到的 1 月 25 日—2 月 5 日 10 d 的数据代入 SIR 模型,计算后拟合得到,疫情预测曲线,见图 2。其中恢复系数设定为 $\gamma = 0.04$,即一般病程 25 d (参考国家公布的数据),并用 Python 拟合计算得到感染系数 $\beta = 0.0098$, $S(0) = 51$ 为随时间 t 而变化的增函数。因此, SIR 模型计算得到的基本再生

系数 $R_0 = \beta/\gamma = 0.245$ 。图 2 中红色的曲线是模型对现有感染人数的预测值,蓝色点表示的是实际确诊量,将预测结果与 1 月 25 日—2 月 5 日的真实数据比较,结果能够很好的拟合真实数据,预测值与真实值误差波动较小。参照预测值与实际值对比显示,衡阳市疫情基本可以判断干预控制有效,进入平缓稳定期。

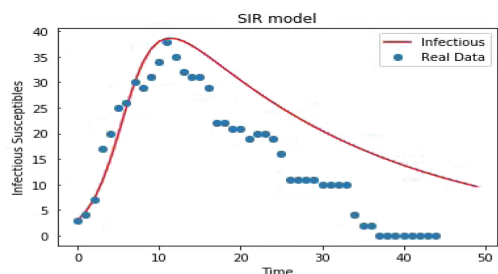


图 2 衡阳市新冠肺炎疫情预测值和实际值对比图

3 讨论

2020 年 1 月 20 日—3 月 2 日,衡阳市共报告 32 例输入性病例,输入性病例高于本地感染病例数(22 例),与湖南省的研究输入性感染为总体第一来源的结果一致^[4]。其中输入病例中有 1 例是深圳居住,有 1 例是邵阳流入的无症状感染者,警示需同样重视和防控其他疫情报告地的输入病例。本文预测基本再生系数 R_0 为 0.245,与周涛等^[5]预测的 R_0 为 2.2 的结果差距较大,这与各地采取的防控措施和计算的时间段有关,提示衡阳市防控措施部署早,采取的一系列隔离传染源与切断传播途径的组合手段的有效性。衡阳市共报告 6 例无症状感染者,占 11.11%。虽然目前国内新冠病毒感染者的诊断还是以肺炎为主的识别特征^[6],但其中无症状感染者的识别是防控工作的难点疑点。德国发生的一起无症状感染者事件^[7]提示无症状感染者同样具备病毒传播能力,建议本市在早期隔离方式的选择上,尽量选择定点隔离,而不是居家隔离,这也与孙倩莱等^[8]的研究一致,识别和隔离无症状感染者也是疫情防控的关键。48 例确诊病例中,首诊症状发热的比例高,46 例患者首次就诊中提示了肺部影像学变化,说明发热和 CT 检查仍然是新冠肺炎诊断的主要阵地,但也不能忽视有其它首发症状表现的患者^[9-10]。临床医生在以后的诊断过程中,应将重点转移到疾病进展之前的早期识别判断,要加强新冠肺炎的知识更新。实验室检测中有 13 例(24.07%)病例经过了 2 次以上的核酸检测才明确诊断,提示单次核酸检测可能漏诊率较高,须结合临床症状先隔离治疗再等待进一步确诊,各地也有类似案例报道^[9-10]。

衡阳市 1 月 25 日报告首例确诊病例以来,感染者

的发病时间主要集中在 1 月 23 日—30 日的 1 周内,这与武汉封城时间和病毒潜伏期比较吻合,与湖南省的流行特征一致^[4]。第一例本地确诊病例发病日期为 1 月 18 日,与武汉返乡人员有关,后散在发生直至 2 月 26 日,拖尾时间较长,提示衡阳市早期以输入病例为主,后转为输入病例和本地病例混合传播的模式,应不断加大排查范围,落实隔离制度,降低本地续发率。衡阳市病例以男性为主(男女比 1.84:1),与常德^[11]的研究结果(男女比 1.08:1)和邵阳^[12]的研究结果(男女比 1:1.09)有差异。从年龄分布来看,感染者年龄范围为 11~75 岁,其中以 30 岁以上年龄段人群(74.07%)为主,儿童相对较少,与各地研究结果^[4,9,12]基本相同,这可能与儿童外出接触病原的机会少和老年人体质较差有关。职业分布以农民/农村外出务工(18 例,33.33%)为主,其次为经商人员(9 例,16.67%)和职工(8 例,14.81%),与邵阳^[12]报道的职业分布特点类似—务工返乡人群和商业服务为主,其中在农民/农村务工分布上,衡阳本地病例和输入病例各占一半,这表明防控工作不能忽视农村地区,防输入和防扩散同样重要。提示疫情期间,提倡不聚会不聚餐的必要性,要注意加强个人防护,减少不必要的外出行为。南岳区无确诊病例,作为著名旅游景点,考虑到人口迁徙数与新冠肺炎的发病率呈正相关性^[7],南岳景区率先在除夕前夜宣布停业,也是衡阳市防控组织得当、部署早、管控严的有力证据。

衡阳作为武广高铁的交通枢纽,随着春节假期的结束,各行各业的复苏和人员的大量流动,都给衡阳市防疫工作带来了新的挑战。为了进一步保持好衡阳市疫情防控攻坚战成果,也为了迎接衡阳市复工复产复学的热潮,建议防控措施要注意以下几点:第一,注重防范,即在源头控制增量,迅速识别、控制疫情,继续落实好疫情监测、流调、检测和治疗。第二,加强对境外入衡人员的管控工作,要百分之百的查验健康申报,全面开展体温监测筛查,严密实施医学巡查,做好源头防护工作和追踪闭环管理。第三,要及时迅速地通过模拟疫情传播行为建立数学模型研究,早期预测疫情趋势以及评估衡量干预措施的有效性。第四,未来防控工作要积极运用人工智能、大数据,依托其便利性,有效助力疫情防控工作,如联合线上 APP 上线发热门诊地图、AI 健康自测小工具、城市疫情防控智能呼叫平台、流行病学密接分析系统和交通系统发热检测体系等。

志谢 特别感谢南华大学公共卫生学院赵英副教授的悉心指导