



Research
Coronavirus Disease 2019—Article

临床诊断标准实施和全城症状排查对武汉新冠病毒肺炎疫情防控的效果评价

魏永越^{a,#}, 魏良敏^{a,#}, 姜玥^a, 沈思鹏^a, 赵杨^a, 郝元涛^b, 杜志成^b, 唐金陵^c, 张志杰^d, 姜庆五^d, 李立明^e, 陈峰^{a,*}, 沈洪兵^{a,*}

^a Department of Epidemiology and Biostatistics, Center for Global Health, School of Public Health, Nanjing Medical University, Nanjing 211166, China

^b Department of Medical Statistics, School of Public Health, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, China

^c Guangzhou Women and Children's Medical Center, Guangzhou 510623, China

^d Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Fudan University, Shanghai 200032, China

^e Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Peking University, Beijing 100191, China

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 April 2020

Revised 11 April 2020

Accepted 23 April 2020

Available online 7 May 2020

关键词

COVID-19

SEIR^Q 传染病动力学模型

临床诊断标准

全城症状排查

干预效果评价

摘要

自新型冠状病毒肺炎 (coronavirus disease 2019, COVID-19) 疫情发生以来, 中国大多数的病例集中在武汉市。虽然早期病例数和死亡人数迅速增加, 但通过采取多种防控措施, 疫情得以快速遏制。纵观全球, 疫情已蔓延至全球六大洲的187个国家, 确诊病例数已超过300万, 这一数字仍在快速增长。在此特殊背景下, 有必要对我国疫情防控措施开展科学的、定量的评估, 为全球疫情防控提供决策依据。为此, 本研究评估了临床诊断标准实施和全城症状排查对武汉市疫情控制的贡献。考虑COVID-19的传播机理、隔离措施等, 建立SEIR^Q传播动力学模型。基于武汉市截至2020年2月14日官方公布的每日确诊病例数和未确诊的临床诊断病例数进行建模, 并预测2月14日以后的疫情态势。基于实际疫情数据, 与模型预测趋势相比较, 评价防控措施效果。结果显示, 若维持2月14日以前防控措施不变, 那么预测将于3月25日和4月29日, 每日新增病例数分别降至100例和10例以下, 将于5月31日首次现零。而事实上, 截至3月6日, 武汉市每日新增病例数降至100例以下, 截至3月11日降至10例以下, 3月18日首次实现零增长, 较之模型预测结果分别提前了19 d、49 d和74 d。截至3月30日, 实际累计病例数为50 006例, 比模型预测值减少19 951例。有效再生数[effective reproductive number, $R(t)$]分析显示, 2月6–10日的第一次全城症状排查后, $R(t)$ 显现出下降趋势, 2月12–14日的临床诊断标准实施和2月17–19日的第二次全城症状排查后, $R(t)$ 显现出较大的降幅, 与实际情况较为一致。综上所述, 武汉市临床诊断标准的实施和全城症状排查等综合防控措施成效显著, 可为世界各国的疫情防控决策提供科学依据。

© 2020 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. 引言

2019年12月, 中国湖北省武汉市报道了几例不明原因肺炎病例。2020年1月9日, 这些病例被鉴定为一种

新型冠状病毒 (novel coronavirus) 感染所致[1], 世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 将该病毒命名为SARS-CoV-2, 由该病毒导致的疾病命名为新型冠状病毒肺炎 (coronavirus disease 2019, COVID-19) [2]。

* Corresponding author.

E-mail address: fengchen@njmu.edu.cn (F. Chen), hbshen@njmu.edu.cn (H. Shen).

These authors contributed equally to this work.

1月份,疫情在中国各地迅速蔓延。根据《中华人民共和国传染病防治法》,新型冠状病毒肺炎被紧急列为乙类传染病,按照甲类传染病管理[2]。自疫情发生以来,全国各地戮力齐心,我国境内的疫情从1月中下旬的快速上升,到2月上旬的有效遏制,再到2月下旬的迅速下降,至3月中旬全国各地已经趋于完全控制。

反观全球形势,COVID-19疫情已呈全球快速蔓延之势[3]。WHO于2020年3月11日正式宣布本次新型冠状病毒肺炎疫情构成全球大流行。截至3月18日,国外累计确诊病例数首次超过国内。截至3月31日,疫情蔓延至全世界六大洲的178个国家,已累计确诊788 522例,其中国外已累计确诊706 282例[4]。截至本文刊发日(5月2日),全球累计确诊病例数已飞速增长至330万例。

武汉市作为我国疫情防控工作的重中之重,自1月下旬以来,采取了一系列积极的防控措施。①1月23日10时起,武汉采取了严格的交通管制,并启动了我国针对突发公共卫生事件的最高级别的一级响应。武汉市区的公交、地铁、轮渡、长途客运全部停运,机场、火车站的出发通道也暂时关闭。因此,1月23日至1月31日期间,武汉市流出人口数量下降至2019年同期的6%,城市内出行强度降至2019年同期的23%[†]。武汉市疫情得到有效控制。②2月6-10日,武汉开展第一次全城症状排查,2月17-19日开展第二次全城症状排查,进一步控制了传染源,切断了传播途径。③根据中华人民共和国国家卫生健康委员会2月5日发布的《新型冠状病毒感染的肺炎诊疗方案(试行第五版)》,具有典型冠状病毒临床特征和影像特征的患者,即使无核酸检测阳性,也可被诊断为新型冠状病毒肺炎[5]。即基于临床诊断标准,在缺乏核酸检测阳性结果的情况下,进行诊断收治并隔离,以防止进一步传播。这一标准的实施导致2月12-14日的病例数急剧增加。

以上措施使得武汉市的疫情增速大大放缓。有研究阐述了离汉交通管制(简称“封城”)对新型冠状病毒传播的影响[6,7]。然而,武汉市临床诊断标准实施和全城症状排查对疫情防控的贡献尚未明确。本研究根据武汉市COVID-19疫情数据,利用传染病动力学模型,科学地、定量地评价临床诊断标准实施、全城症状排查等防控措施对武汉市疫情防控的效果,进一步完善对疫情发展规律的认知,并为全球COVID-19疫情防控提供决策依据。

2. 材料与方法

2.1. 数据来源

数据来自武汉市卫生健康委员会官方网站和中华人民共和国国家卫生健康委员会官方网站。

收集2020年1月15日至2020年3月30日每日新增病例数、逐日累计病例数。数据获取时间:2020年3月31日18时。所有的确诊病例均采用实验室核酸检测结果阳性作为确诊依据。此外,根据国家卫生健康委员会2020年2月5日发布的《新型冠状病毒感染的肺炎诊疗方案(试行第五版)》[5],在无核酸检测阳性的情况下,采用临床诊断标准作为诊断依据。2月12-14日官方报道了临床诊断病例数。数据见表1。

2.2. 动力学模型的定义和拟合

本研究基于易感-暴露-感染-移除(susceptible-exposed-infectious-removed, SEIR)动力学模型进行扩展(简称SEIR^{+Q}模型)。考虑隔离舱室(quarantine compartment),将人群分为7类:易感人群(susceptible, S)、潜伏期人群(exposed, E)、未确诊(未隔离)的感染人群(infectious, I)、隔离的易感人群(S_q)、隔离的潜伏期人群(E_q)、确诊(隔离)感染人群(I_q)以及移出人群(recovered, R) (图1)。微分方程组见公式(1),模型参数见表2 [5,8]。

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= (\rho - 1)\beta\varphi(\varepsilon E + I)S - \rho\beta(1 - \varphi)(\varepsilon E + I)S - \rho\beta\varphi(\varepsilon E + I)S + \omega S_q \\ \frac{dS_q}{dt} &= \rho\beta\varphi(\varepsilon E + I)S - \omega S_q \\ \frac{dE}{dt} &= (1 - \rho)\beta\varphi(\varepsilon E + I)S - \alpha E \\ \frac{dE_q}{dt} &= \rho\beta(1 - \varphi)(\varepsilon E + I)S - \alpha E_q \\ \frac{dI}{dt} &= \alpha E(1 - \theta) - \gamma I \\ \frac{dI_q}{dt} &= \alpha E_q + \alpha E\theta - \gamma_q I_q \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I + \gamma_q I_q \end{aligned} \quad (1)$$

因2月12-14日连续3日激增了14 953例临床诊断病例,这使得大多数动力学模型无法拟合。本研究将2月12-14日激增的临床诊断病例视为之前累计未确诊的患者,即模型中累计的 I 。

基于截至2月14日的官方公布数据,对逐日累计核酸确诊病例数(31 d)和逐日累计临床诊断病例数(3 d)进行拟合(模型I),采用四阶Runge-Kutta法(fourth-order Runge-Kutta method, RK4)求解参数,

[†] <http://qianxi.baidu.com/>

表1 武汉市新型冠状病毒肺炎疫情官方报道病例数

日期	每日新增病例数	逐日累计病例数	日期	每日新增病例数	逐日累计病例数
1月15日	0	41	2月22日	541	46 201
1月16日	4	45	2月23日	406 ^a	46 607
1月17日	17	62	2月24日	464	47 071
1月18日	59	121	2月25日	370	47 441
1月19日	77	198	2月26日	383	47 824
1月20日	60	258	2月27日	313	48 137
1月21日	105	363	2月28日	420	48 557
1月22日	62	425	2月29日	565	49 122
1月23日	70	495	3月1日	193	49 315
1月24日	77	572	3月2日	111	49 426
1月25日	46	618	3月3日	114	49 540
1月26日	80	698	3月4日	131	49 671
1月27日	892	1590	3月5日	126	49 797
1月28日	315	1905	3月6日	74	49 871
1月29日	356	2261	3月7日	41	49 912
1月30日	378	2639	3月8日	36	49 948
1月31日	576	3215	3月9日	17	49 965
2月1日	894	4109	3月10日	13	49 978
2月2日	1033	5142	3月11日	8	49 986
2月3日	1242	6384	3月12日	5	49 991
2月4日	1967	8351	3月13日	4	49 995
2月5日	1766	10 117	3月14日	4	49 999
2月6日	1501	11 618	3月15日	4	50 003
2月7日	1985	13 603	3月16日	1	50 004
2月8日	1379	14 982	3月17日	1	50 005
2月9日	1920 ^a	16 902	3月18日	0	50 005
2月10日	1552	18 454	3月19日	0	50 005
2月11日	1104	19 558	3月20日	0	50 005
2月12日	13 436	32 994 (12 364 ^b)	3月21日	0	50 005
2月13日	2997 ^a	35 991 (14 031 ^b)	3月22日	0	50 005
2月14日	1923	37 914 (14 953 ^b)	3月23日	1	50 006
2月15日	1548	39 462	3月24日	0	50 006
2月16日	1690	41 152	3月25日	0	50 006
2月17日	1600	42 752	3月26日	0	50 006
2月18日	1660	44 412	3月27日	0	50 006
2月19日	615	45 027	3月28日	0	50 006
2月20日	319	45 346	3月29日	0	50 006
2月21日	314	45 660	3月30日	0	50 006

^a每日新增病例数=当日累计病例数-前日累计病例数;

^b累计临床诊断病例数。

并作为Markov chain Monte Carlo法 (MCMC) 的初始值。两次全城症状排查 (2月6-10日、2月17-19日) 和临床诊断标准实施 (2月5日颁布了标准, 2月12-14日报告了临床诊断病例数) 短时间内控制了大量的传染源, 切断了传播途径, 疫情的流行规律发生了明

显的变化。因此, 以模型I的2月14日拟合结果为基础, 对2月14日以后的疫情趋势进行重新拟合 (模型II)。另外, 基于实际疫情数据和动力学模型拟合结果, 估计有效再生数 [effective reproductive number, $R(t)$] [9] 以评价疫情走势。

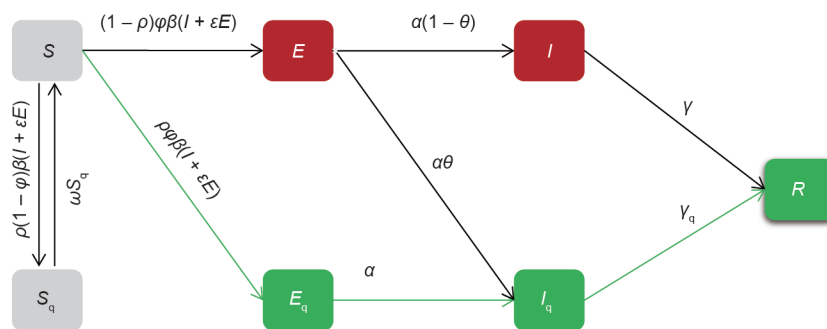


图1. 考虑隔离措施的SEIR⁺Q动力学模型。将总人群分为4类人群：易感人群（susceptible, S ）、潜伏期人群（exposed, E ）、未确诊（未隔离）的感染人群（infectious, I ）、移出人群（recovered, R ），以及另外3类隔离人群：隔离的易感人群（ S_q ）、隔离的潜伏期人群（ E_q ）、确诊（隔离）感染人群（ I_q ）。

表2 武汉市SEIR⁺Q动力学模型及参数设置

参数	含义	起始数值	搜索范围	设置依据或估计方法
S	易感人群	8×10^4	$5 \times 10^4 \sim 1.5 \times 10^5$	RK4和MCMC
S_q	被隔离的易感人群，无被传染风险	0	固定	—
E	潜伏期人群	361	固定	$I_q(0) \times$ 潜伏期长度
E_q	被隔离的潜伏期人群，无传染风险	0	固定	—
I	未收治轻型肺炎感染者	26	固定	—
I_q	被隔离的感染者，无传染风险	41	固定	表1
R	移出者（痊愈或死亡）	14	固定	官方网站
β	易感者与潜伏期人群或感染人群接触速率	1.45×10^4	$1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^3$	RK4和MCMC
ρ	易感染群被追踪到的概率	0.05	0~0.10	RK4和MCMC
ϕ	密切接触者中被传染的概率	0.13	0.01~0.50	RK4和MCMC
ε	较之感染者，潜伏期人群的传播力系数	0.07	0.10~0.90	RK4和MCMC
ω	隔离易感人群的释放率	0.07	固定	—
α	潜伏期人群进展为感染者的速率，为潜伏期的倒数	0.19	固定	参考文献[5]
γ	未确诊（未隔离）感染者的移出速率	0.10	固定	参考文献[8]
γ_q	确诊感染者的移出速率	0.10	固定	参考文献[8]
θ	感染者中被确诊隔离的比例	0.6	0.2~0.8	RK4和MCMC

2.3. 干预效果评价

2.3.1. 临床诊断标准

《新型冠状病毒感染的肺炎诊疗方案（试行第五版）》建议临床诊断标准只在湖北省实施[5]。如果个体有“发烧和（或）呼吸道症状”和“疾病早期白细胞计数正常或减少，或淋巴细胞计数减少”的临床表现，则可被归类为疑似感染。如果通过肺部的计算机断层扫描（CT）成像等影像学检查显示典型的病毒性肺炎特征，在缺乏核酸检测阳性结果的情况下，疑似感染可以被诊断为新型冠状病毒肺炎。

2.3.2. 全城症状排查

在2月6–10日（第一次）和2月17–19日（第二次）的全城症状排查期间，所有社区关闭，所有居民留在家

中。数以千计的社区工作人员和志愿者使用所有社区的网格搜索对所有居民进行筛查，以追踪4类人口：感染患者、疑似患者、体温 ≥ 37.3 °C的发烧患者（不能排除可能的感染）以及与确诊病例有密切接触的人。居民的体温是通过推荐的手机应用程序或电话自发上报，或通过社区工作人员和志愿者的上门和个人走访收集的。这4类人口被集中隔离，并在必要情况下给予适当治疗。

2.3.3. 防控效果量化

通过比较武汉市实际疫情数据与2月14日前数据拟合的动力学模型（模型I）预测的趋势，对全城症状排查和临床诊断标准实施的效果进行评价。干预措施的效果被量化为实现每日新增病例数 <100 例、 <10 例和首次零增长所提前的天数，以及截至3月30日累计确诊病例

数降幅。此外，较之模型I拟合结果所得的 $R(t)$ 曲线，实际疫情数据和模型II的 $R(t)$ 曲线可直观展示全城症状排查和临床诊断标准实施对新型冠状病毒肺炎流行趋势的影响。

2.4. 统计分析软件

根据COVID-19的流行规律，确定参数的合理范围；采用Berkeley Madonna Version 9.1.19 (Berkeley Madonna Inc., USA) 软件进行拟合，探索合适的参数区间；并据此为初值，采用R version 3.6.3 (R Foundation for Statistical Computing, Austria) 统计软件中的deBInfer包 (version 0.4.2; <https://github.com/pboesu/debinfer>) 进行建模分析，进行100 000次退火和200 000次MCMC模拟[†]，并估计参数的95%可信区间。

3. 结果

将2月12–14日激增的临床诊断病例考虑为前期未确诊的感染者，利用Berkeley Madonna软件对逐日累计确诊病例数和逐日累计临床诊断病例数进行同时拟合 (模型I)。模型拟合获得累计确诊病例数和累计临床诊断病例数 [图2 (a)]。据此推算，未确诊病例数平均占比为40%，受限于疫情早期的核酸检测能力，1月份的未确诊病例占比更高 (中位数: 55%; 范围: 42%~71%) [图2 (a)]。假设保持2月14日之前的防控措施不变，通过模型预测武汉市未来的疫情走势；模型预测结果和实际疫情情况进行比较，以评估全城症状排查和临床诊断标准实施的防控效果。在维持防控措施不变的情况下，预测将于3月25日和4月29日起，每日新增病例数降至100例和10例以下，并将于5月31日首次零增长，最终将累计达69 957例病例 [图2 (b)]。

事实上，2月14日以后每日新增病例数逐渐减少，2月19日以后每日新增病例数大幅度减少，这与临床诊断标准实施后经过了5~7 d的期望平均潜伏期一致。每日新增病例数<100例、<10例和首次为零的时间点比模型I所预测的时间点分别提前了19 d、49 d和74 d [图2 (b)]。截至3月30日，实际累计确诊病例数为50 006，比模型I预测值减少了19 951例 [图2 (b)]。值得注意的是，2月19日发布的《新型冠状病毒感染的肺炎诊疗方案 (试行第六版)》[10]不再支持冠状病毒的临床诊断标准。在敏感性分析中，2月19日之后从预测结果中扣除

临床诊断病例，武汉的实际情况较之仍然具有明显的乐观态势 [图2 (c)]。

可见临床诊断标准的实施和全城症状排查等举措控制了绝大多数传染源，切断了潜在传播途径。为了验证该推论，本研究以模型I的2月14日拟合结果为起点，对2月14日以后的传播系数 β 进行重新估计 (模型II)。并基于模型I和模型II的输出以及2月12日之前的实际频率估计，估算有效再生数 $R(t)$ (图3)。结果显示，2月6–10日的第一次全城症状排查开始， $R(t)$ 显现出下降趋势，自2月12–14日的临床诊断标准实施后， $R(t)$ 显现出较大的降幅。3月5日以后， $R(t)$ 近乎为0 (<0.1)，疫情接近尾声，与实际情况较为一致。

4. 讨论

自疫情暴发以来，人们对COVID-19的认识逐渐深入，诊疗方案也逐步完善，至今已联合发布了7个版本的“新型冠状病毒感染的肺炎诊疗方案”。1月下旬至2月上旬，湖北省尤其是武汉市疑似病例大量涌现，无法及时进行核酸检测；一些临床症状符合，但核酸检测为假阴性者，也未能及时收治，大量病例积压。这些病例大多具有传染性，导致防控压力日益增长。

表面上看，临床诊断标准的实施导致2月12–14日的病例数激增，进而使得模型失效，预测结果严重偏离，疫情走势误判而扑朔迷离。事实上，短时间内收治这些积压的符合临床诊断标准的病例，实则控制了大量的传染源，通过隔离措施切断其传播途径，显著遏制了未来疫情发展态势。本研究结果显示，2月12–14日累计报告临床诊断病例达14 953例，嗣后，在1个潜伏期 (5~7 d) 后 (即2月19日起)，每日新增病例数和有效再生数出现大幅下降。2月17–19日的第二次全城症状排查和2月下旬对医学观察人员的集中检测，进一步巩固了疫情防控效果，疫情于3月1日起再次下降，有效再生数 $R(t)$ 基本接近于零，疫情趋于尾声。综合来看，2月上旬至中旬武汉的临床诊断标准的实施和全城症状排查，使武汉市病例数减少近两万例，关键时间节点大大提前，综合防控措施成效显著。2月19日后的实际疫情数据与传染病流行规律有所偏离，提示可能仍然存在一定比例的未确诊病例。

疫情发生后，国内外学者根据公开的疫情数据，采用多种方法进行建模，试图预测疫情趋势 [8,11–14]。传

[†] <https://github.com/pboesu/debinfer>

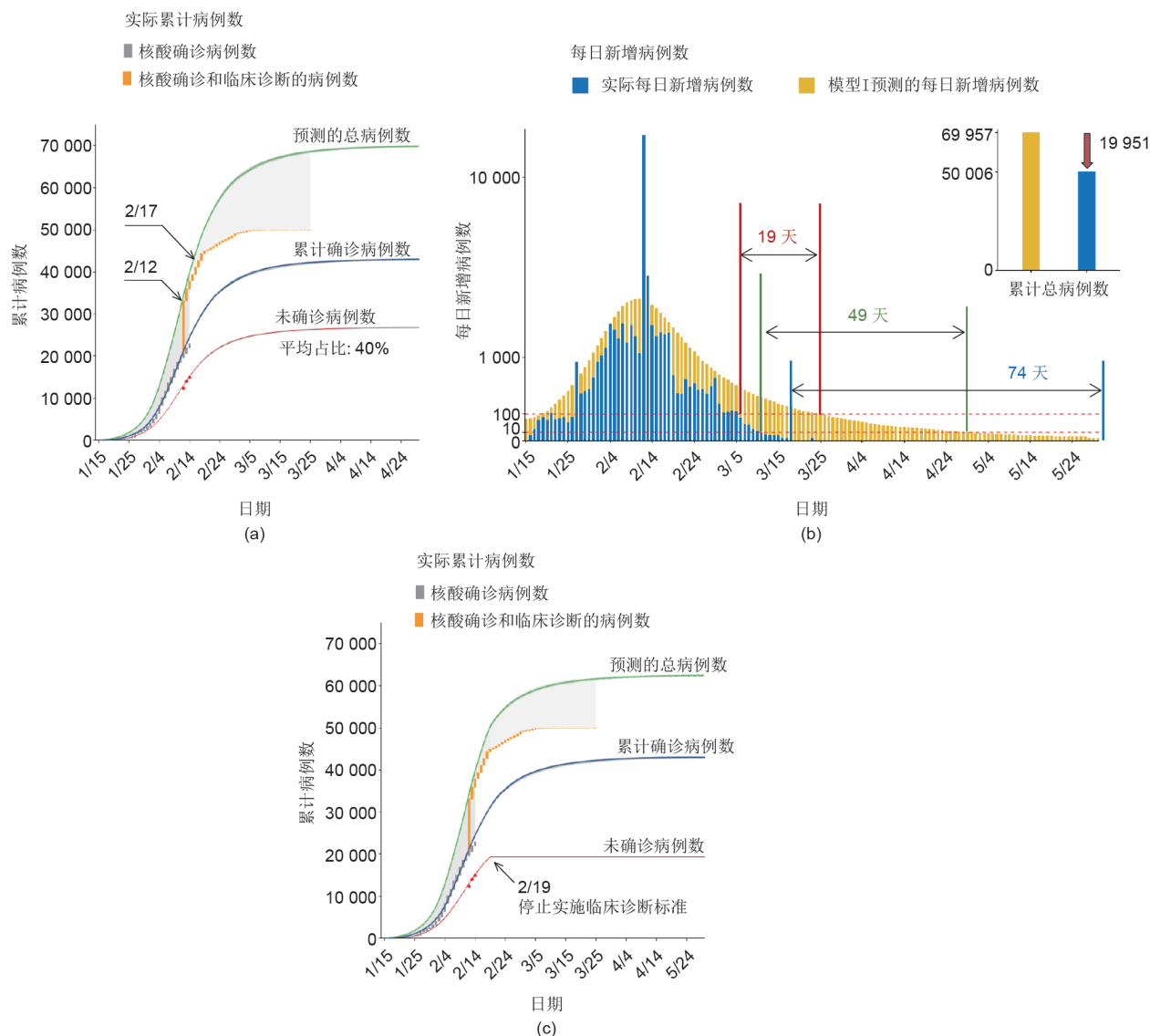


图2. 武汉市疫情SEIR⁰动力学模型拟合结果。(a) 使用2020年2月14日之前的临床诊断病例数(红点)和实验室确诊病例数(灰色阶梯)拟合动力学模型; 橙色阶梯代表2020年2月12日之后的实际累计病例数(包括核酸确诊病例和临床诊断病例); 用SEIR⁰动态模型拟合并预测累计未确诊病例数(红色曲线)、累计确诊病例数(蓝色曲线)、累计总病例数(包括确诊病例数和未确诊病例数); 黑色箭头: 2月12日起报道临床诊断病例数(连续3 d), 2月17日起第二次全城症状排查(连续3 d); 2月12日之前的灰色阴影表示未报道的未确诊病例数; 2月14日之后的灰色阴影表示干预的效果。(b) 武汉市防控效果。(c) 鉴于2月19日发布的《新型冠状病毒感染的肺炎诊疗方案(试行第六版)》[10]不再支持新型冠状病毒的临床诊断标准, 2月19日之后从预测结果中扣除临床诊断病例数作为敏感性分析。

染病动力学模型是基于理论假设和现有数据, 拟合过去的疫情趋势, 并在假设防控措施和疾病流行特征维持不变的前提下, 预测未来的疫情走势。而动力学模型的理论假设只有与实际情况相符合时才能很好地拟合疫情数据, 并准确预测未来走势。然而, 实际工作中防控措施和落实情况不断变化, 现场情况复杂, 对疾病的认识逐渐深入, 相应的诊疗方案迅速变更, 因而, 早先的动力学模型假设与实际情况存在明显偏差, 降低了模型拟合的准确性, 给模型的应用和评价带来了严峻挑战。

如何处理2月12—14日累计病例数出现的大幅跳跃, 也成为疫情数据分析和趋势评估的关键。笔者前期

研究仅基于2月12日之前不包含临床诊断病例的数据进行建模[14]。亦有学者将临床诊断病例数扣除后再行拟合[7]。Song等[15]假设2月12日涌现的临床诊断病例数服从指数分布, 并对历史累计病例数进行校正后, 采用扩展的SIR模型进行拟合。本研究对临床诊断病例进行溯源分析, 将其定性为前期未报告或未诊断的病例, 具有一定的合理性。基于此, 对2月14日后的疫情进行预测和分段重新拟合, 为干预效果的评估提供参照。亦可评估2月12日以前的未诊断情况, 提示疫情早期病例未诊断率约40%, 但模型中未考虑无症状感染者和轻型感染者等的情况, 因此该比例低于王超龙等学者基于武

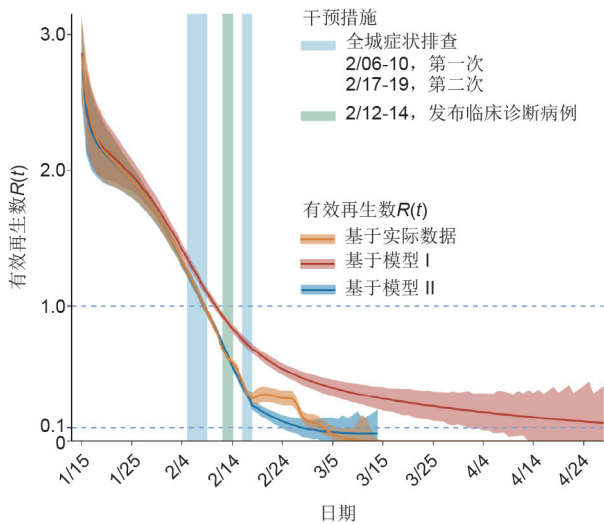


图3. 基于模型I和模型II拟合结果的武汉市动态有效再生数。 $R(t)$ 曲线分别基于3类数据进行估计：基于2月14日之前的实际病例数拟合的模型I（红色曲线），对2月14日之后进行重新拟合的模型II（蓝色曲线），实际病例数（橙色曲线）。3条垂直线分别表示3个干预措施时间段：第一次全城症状排查、临床诊断标准的实施（以官方公布临床诊断病例数据为依据）、第二次全城症状排查。

武汉市个体化发病数据所估计的59% [7]。

本研究存在一些局限性。第一，在SEIR^{+Q}模型中，未确诊的临床诊断病例被认为是具有传染性的。但部分病例由于具有临床症状，可能在确诊前已经住院隔离，从而感染能力有限。第二，本研究没有考虑无症状感染和感染的临床分类。第三，对新型冠状病毒流行趋势的可靠估计应基于患者发病信息的数据，而目前这些数据暂不可用。第四，在基于实际数据的因果推断过程中，潜在的混杂因素是不容忽视的。此外，武汉市疫情防控效果是多种防控措施的综合效果，难以精确地分解和归因。

5. 结论

本研究提出的SEIR^{+Q}动力学模型很好地拟合了武汉市疫情数据，解释了疫情数据的“跳跃”现象。武汉市临床诊断标准的实施和全城症状排查使得武汉市的疫情规模显著减少，流行时间明显缩短。在COVID-19疫情在全球持续快速传播背景下，本研究结果可为全球COVID-19疫情防控提供决策依据。

致谢

本研究由国家自然科学基金新型冠状病毒肺炎疫情

研究专项项目（82041024、82041026）资助。向战斗在新型冠状病毒肺炎疫情防控一线的工作人员致敬！

Compliance with ethics guidelines

Yongyue Wei, Liangmin Wei, Yue Jiang, Sipeng Shen, Yang Zhao, Yuantao Hao, Zhicheng Du, Jinling Tang, Zhijie Zhang, Qingwu Jiang, Liming Li, Feng Chen, and Hongbing Shen declare that they have no conflict of interest or financial conflicts to disclose.

References

- [1] Gorbalenya AE, Baker SC, Baric RS, de Groot RJ, Drosten C, Gulyaeva AA, et al. The species severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nat Microbiol* 2020;5:536–44.
- [2] National Health Commission of the People's Republic of China, National Administration of Traditional Chinese Medicine of the People's Republic of China. *Guidance for coronavirus disease 2019: prevention, control, diagnosis and management*. Beijing: People's Medical Publishing House; 2020.
- [3] Remuzzi A, Remuzzi G. COVID-19 and Italy: what next? *Lancet* 2020;395:1225–8.
- [4] Dong E, Du H, Gardner L. An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. *Lancet Infect Dis* 2020;20(5):533–4.
- [5] National Health Commission of the People's Republic of China, National Administration of Traditional Chinese Medicine. *Interpretation of "Guidelines for diagnosis and treatment of novel coronavirus pneumonia (trial version 5)"* [Internet]. Beijing: The State Council of the People's Republic of China; 2020 [cited 2020 Mar 31]. Available from: <http://www.nhc.gov.cn/yzygj/s7652m/202002/e84bd30142ab4d8982326326e4db22ea.shtml>. Chinese.
- [6] Chinazzi M, Davis JT, Ajelli M, Gioannini C, Litvinova M, Merler S, et al. The effect of travel restrictions on the spread of the 2019 novel coronavirus (COVID-19) outbreak. *Science* 2020;368(6489):395–400.
- [7] Pan A, Liu L, Wang C, Guo H, Hao X, Wang Q, et al. Association of public health interventions with the epidemiology of the COVID-19 outbreak in Wuhan, China. *JAMA* 2020;323(19):1915–23.
- [8] Hao X, Cheng S, Wu D, Wu T, Lin X, Wang C. Reconstruction of the full transmission dynamics of COVID-19 in Wuhan. *Nature* 2020;584(7821):420–4.
- [9] Wallinga J, Teunis P. Different epidemic curves for severe acute respiratory syndrome reveal similar impacts of control measures. *Am J Epidemiol* 2004;160(6):509–16.
- [10] National Health Commission of the People's Republic of China, National Administration of Traditional Chinese Medicine. *Guideline for diagnosis and treatment of novel coronavirus pneumonia (trial version 6)* [Internet]. Beijing: The State Council of the People's Republic of China; 2020 Feb 19 [cited 2020 Mar 31]. Available from: <http://www.nhc.gov.cn/xcs/zhengcwj/202002/8334a8326dd94d329df351d7da8aefc2.shtml>. Chinese.
- [11] Kucharski AJ, Russell TW, Diamond C, Liu Y, Edmunds J, Funk S, et al. Early dynamics of transmission and control of COVID-19: a mathematical modelling study. *Lancet Infect Dis* 2020;20(5):553–8.
- [12] Li Q, Guan X, Wu P, Wang X, Zhou L, Tong Y, et al. Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia. *N Engl J Med* 2020;382:1199–207.
- [13] Tang B, Wang X, Li Q, Bragazzi BL, Tang S, Xiao Y, et al. Estimation of the transmission risk of the 2019-nCoV and its implication for public health interventions. *J Clin Med* 2020;9(2):462.
- [14] Wei Y, Lu Z, Du Z, Zhang Z, Zhao Y, Shen S, et al. Fitting and forecasting the trend of COVID-19 by SEIR+CAQ dynamic model. *Chin J Epidemiol* 2020;41(4):470–5. Chinese.
- [15] Song PX, Wang L, Zhou Y, He J, Zhu B, Wang F, et al. An epidemiological forecast model and software assessing interventions on COVID-19 epidemic in China. *MedRxiv*: 2020.02.29.20029421v1.