

·新型冠状病毒肺炎防控·

新型冠状病毒肺炎疫情初期湖北省输出风险评估

胡建雄 何冠豪 刘涛 肖建鹏 容祖华 郭凌川 曾韦霖 朱志华 龚德鑫
殷李华 万东华 曾丽连 马文军

广东省疾病预防控制中心广东省公共卫生研究院环境与健康研究室, 广州511430

通信作者: 马文军, Email: mawj@gdiph.org.cn

【摘要】目的 评估湖北新型冠状病毒肺炎的疫情输出风险及其他各省从湖北输入疫情的风险。**方法** 获取截至2020年2月14日我国各省报告病例数(不含临床诊断病例;不含中国香港、澳门和台湾数据)和百度迁徙指数,对各省累计报告病例数和湖北迁出指数进行相关分析,评估湖北疫情输出风险和其他省疫情输入风险。**结果** 全国累计报告确诊病例49 970例,其中湖北37 884例。湖北平均每天迁出至其他省的指数为312.09,武汉和湖北其他市分别为117.95和194.16。各省累计报告病例数与湖北、武汉及湖北其他市迁出至各省的人口迁徙指数均成正相关,相关系数分别为0.84、0.84和0.81;湖北、武汉及湖北其他市人口迁出分别可解释线性模型71.2%、70.1%和66.3%的变异。湖北高输出风险时间集中在1月27日前,其中1月23日前的疫情输出风险主要来源于武汉,之后主要来源于湖北其他市。疫情输入风险排前3位的是湖南、河南和广东,累计风险指数分别为58.61、54.75和49.62。**结论** 我国各省疫情主要由湖北输入引起,湖北限制人口流出、各省加强对湖北省迁入人员的检疫,可以较大程度降低各省(除湖北)疫情持续传播风险。

【关键词】 危险性评估; 人口迁徙; 新型冠状病毒肺炎

基金项目: 广东省科技计划项目(2018B020207006、2019B020208005、2019B111103001);广州市科技计划项目(201804010383);广东省医学科研基金(A2018462)

DOI: 10.3760/cma.j.cn112150-20200219-00142

Risk assessment of exported risk of novel coronavirus pneumonia from Hubei Province

Hu Jianxiong, He Guanhao, Liu Tao, Xiao Jianpeng, Rong Zuhua, Guo Lingchuan, Zeng Weilin, Zhu Zhihua, Gong Dexin, Yin Lihua, Wan Donghua, Zeng Lilian, Ma Wenjun

Guangdong Provincial Institute of Public Health, Guangdong Provincial Center for Disease Control and Prevention, Guangzhou 511430, China

Corresponding author: Ma Wenjun, Email: mawj@gdiph.org.cn

【Abstract】 Objective To evaluate the exported risk of novel coronavirus pneumonia (NCP) from Hubei Province and the imported risk in various provinces across China. **Methods** Data of reported NCP cases and Baidu Migration Index in all provinces of the country as of February 14, 2020 were collected. The correlation analysis between cumulative number of reported cases and the migration index from Hubei was performed, and the imported risks from Hubei to different provinces across China were further evaluated. **Results** A total of 49 970 confirmed cases were reported nationwide, of which 37 884 were in Hubei Province. The average daily migration index from Hubei to other provinces was 312.09, Wuhan and other cities in Hubei were 117.95 and 194.16, respectively. The cumulative NCP cases of provinces was positively correlated with the migration index derived from Hubei province, also in Wuhan and other cities in Hubei, with correlation coefficients of 0.84, 0.84, and 0.81. In linear model, population migration from Hubei Province, Wuhan and other cities in Hubei account for 71.2%, 70.1%, and 66.3% of the variation, respectively. The period of high exported risk from Hubei occurred before January 27, of which the risks before January 23 mainly came from Wuhan, and then mainly from other cities in Hubei. Hunan Province, Henan Province and Guangdong Province ranked the top three in terms of cumulative imported risk (the cumulative risk indices were 58.61, 54.75 and 49.62 respectively). **Conclusion** The epidemic in each province was mainly caused by the importation of Hubei Province. Taking measures such as restricting the

migration of population in Hubei Province and strengthening quarantine measures for immigrants from Hubei Province may greatly reduce the risk of continued spread of the epidemic.

【Key words】 Risk assessment; Population migration; Novel coronavirus pneumonia

Fund programs: Science and Technology Program of Guangdong Province (2018B020207006, 2019B020208005, 2019B111103001); Guangzhou Science and technology Plan Project (201804010383); Guangdong medical research foundation (A2018462)

DOI: 10.3760/cma.j.cn112150-20200219-00142

新型冠状病毒肺炎 (novel coronavirus pneumonia, NCP), 是一种由 2019 新型冠状病毒 (2019 novel coronavirus, 2019-nCoV) 感染的传染性肺炎, 主要症状为发热、乏力和干咳。2019 年 12 月在湖北武汉暴发, 并迅速蔓延至湖北及全国, 甚至其他国家。截至 2020 年 2 月 17 日, 我国累计报告确诊病例 72 528 例^[1], 另有 25 个国家累计报告 794 例^[2]。已有研究显示, NCP 具有较强的传染性, 可能高于 2003 年暴发的重症急性呼吸综合征 (severe acute respiratory syndrome, SARS)^[3], 对于防控工作来说, 是一项巨大的挑战。尤其是我国当前正处于春节假期之后, 即将全面展开复工复产工作, 大规模的人口流动伴随着较高的疫情传播风险。本研究结合湖北省的人口流动和疫情发展情况, 对湖北省的疫情输出风险及全国各省的疫情输入风险进行定量评估, 以期为 NCP 疫情研判和防控提供科学依据。

资料与方法

1. 数据来源: 从国家卫生健康委员会及各省级卫生健康委员会官方网站收集每日报告新增病例数 (均为实验室确诊病例), 时间截至 2020 年 2 月 14 日。湖北省迁出至我国 30 个省 (不含中国香港、澳门和台湾数据) 的人口规模来源于百度迁徙 (<http://qianxi.baidu.com/>), 以迁徙指数表征规模, 为方便计算, 将直接获取的迁徙指数乘以 100, 时间为 2020 年 1 月 1 日至 2 月 14 日。人口数据来源于 2019 年湖北统计年鉴^[4]。

2. 传播风险计算: 基于迁出人群符合迁出地人群分布的假设, 按照迁出地的发病率表示迁出人群发病风险的思路, 分别考虑武汉和湖北其他市的人口数、每日的新增病例数和迁出指数, 计算湖北每日的输出风险, 计算公式为 $Risk_{out,t} = \frac{case_{1,t}}{pop_1} \times$

$MI_{1,t} + \frac{case_{2,t}}{pop_2} \times MI_{2,t}$, 式中 $Risk_{out,t}$ 为湖北每日的综

合输出风险, $case_{1,t}$ 为武汉每日新增病例数, pop_1 为武汉人口数 (1 108 万), $MI_{1,t}$ 为武汉每日的人口迁出指数; $case_{2,t}$ 为湖北其他市每日新增病例数, pop_2 为湖北其他市人口数 (4 809 万), $MI_{2,t}$ 为湖北其他市每日的人口迁出指数。在此基础上, 计算全国其他 30 个省来源于湖北省的输入风险。计算公式为

$$Risk_{in,i,t} = \frac{case_{1,t}}{pop_1} \times iMI_{i,1,t} + \frac{case_{2,t}}{pop_2} \times iMI_{i,2,t}, \text{ 式 中}$$

$Risk_{in,i,t}$ 表示某省每日从湖北省输入疫情的综合风险, $iMI_{i,1,t}$ 为来自武汉市每日的迁出指数, $iMI_{i,2,t}$ 为来自其他市每日的迁出指数。

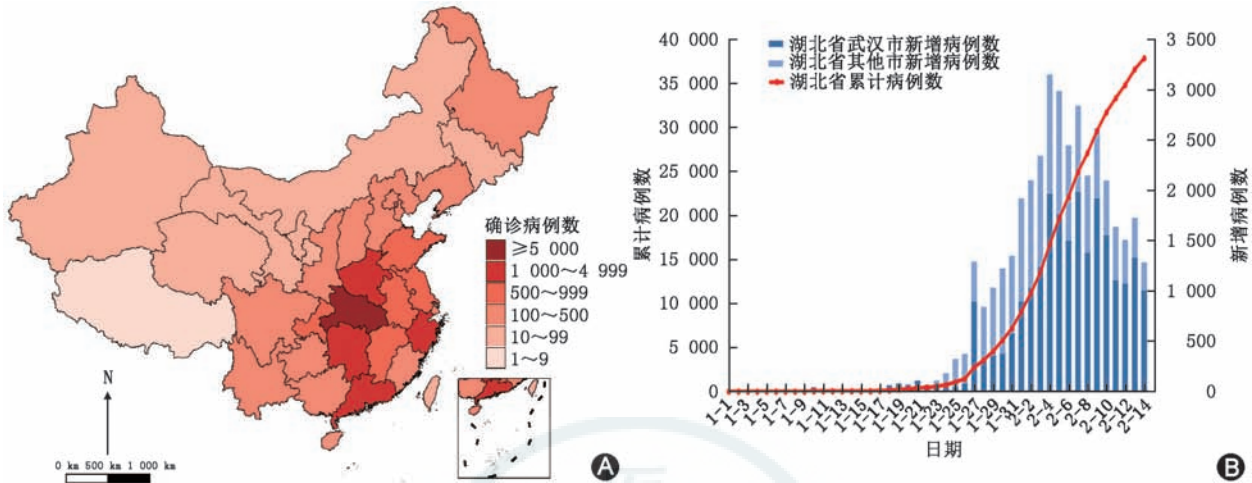
3. 统计学分析: 采用 Excel 2019 软件对数据进行整理, 分析湖北输出病例风险的时间变化趋势; 采用 R 3.6.1 软件, 进行病例的空间分布特征、湖北人口迁出规模与其他省累计病例数的相关性分析, 并计算输入或输出疫情风险。

结 果

1. 疫情基本情况: 截至 2020 年 2 月 14 日, 全国累计报告了确诊病例 49 970 例 (不含临床诊断病例), 遍布全国 31 个省份及港澳台地区, 见图 1A。除湖北 (37 884 例) 外, 广东 (1 294 例)、浙江 (1 162 例)、河南 (1 212 例) 和湖南 (1 001 例) 累计病例数排前 4 位; 单日新增病例数最高的省份分别是浙江 (132 例)、广东 (127 例)、河南 (109 例) 和湖南 (74 例)。在湖北的累计确诊病例数中, 60.61% (22 962/37 884) 来源于武汉市; 每日的新增报告病例数也以武汉市为主, 见图 1B。

2. 湖北人口迁出情况: 湖北日均迁出至其他省的指数为 312.09, 武汉和湖北其他市分别为 117.95 和 194.16。其中, 武汉的人口主要迁出至河南、湖南、广东、安徽和江西, 日均迁出指数分别为 19.91、12.96、8.48、8.40 和 7.79; 湖北其他城市主要迁出至湖南、河南、广东、重庆和江西, 迁出指数分别为 33.01、27.48、23.04、19.21 和 13.84 (表 1)。

3. 湖北省疫情输出风险分析: 全国各省的累计



(A) 全国累计病例空间分布

图1 截至2020年2月14日我国各省新型冠状病毒肺炎累计报告病例数分布(A)及湖北病例数时间分布(B)图

表1 截至2020年2月14日湖北、武汉及湖北其他市迁至我国其他省的日均迁徙指数

迁出省	湖北	武汉	湖北其他市	迁出省	湖北	武汉	湖北其他市
河南	47.39	19.91	27.48	广西	6.20	3.09	3.12
湖南	45.97	12.96	33.01	云南	4.35	2.19	2.17
广东	31.51	8.48	23.04	山西	4.11	2.30	1.81
重庆	23.77	4.56	19.21	甘肃	2.99	1.41	1.57
江西	21.63	7.79	13.84	海南	2.55	1.58	0.97
安徽	17.64	8.40	9.25	辽宁	2.09	1.30	0.78
江苏	14.06	6.08	7.97	黑龙江	1.57	1.05	0.52
四川	12.82	4.67	8.15	天津	1.45	0.69	0.77
浙江	12.21	4.61	7.60	新疆	1.36	0.92	0.44
陕西	11.07	2.81	8.26	内蒙古	1.17	0.73	0.44
山东	8.21	4.29	3.92	吉林	1.10	0.66	0.44
北京	7.96	4.17	3.78	宁夏	0.63	0.37	0.25
福建	7.50	3.31	4.19	青海	0.52	0.27	0.25
河北	6.70	3.51	3.19	西藏	0.22	0.11	0.12
上海	6.69	3.11	3.58	累计	312.09	117.95	194.16
贵州	6.65	2.62	4.04				

注:不含中国香港、澳门和台湾数据

报告病例数与湖北、武汉和湖北其他市迁出至各省的人口指数均成正相关,相关系数分别为0.84、0.84和0.81。分别建立湖北、武汉和其他市人口迁出与各省累计病例数的线性模型,其中湖北人口迁出可解释模型71.2%变异,武汉人口迁出可解释模型70.1%的变异,其他市可解释66.3%的变异(图2A)。湖北的高输出风险时间集中在2020年1月27日前,其中1月23日前的风险主要来源于武汉,之后主要来源于湖北其他市(图2B)。

4. 其他省输入疫情风险:全国其他各省均受到

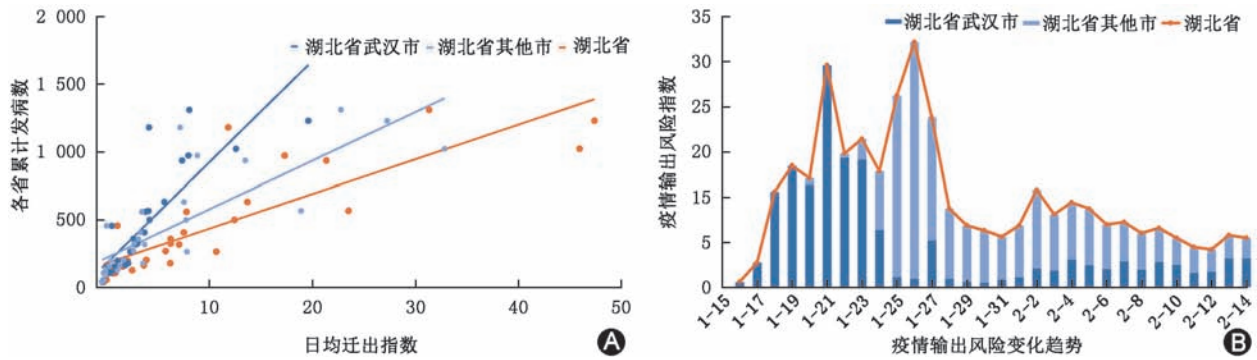
湖北疫情输出的影响,湖南、河南和广东受到的累计输入风险较高(图3)。这3个省单日最高风险均出现在疫情前期,其中广东最高,其次是河南,湖南相对较低。2月份后,湖北的邻近省湖南和河南仍然较高。2月13—14日,山西、湖南、河南、广东的输入风险还比较高,其他省份较低。

讨论

2019-nCoV是一种新的冠状病毒毒株,不同于SARS和SARS样病毒,以往从未在人群中发现^[5]。2019-nCoV所致的NCP,已经明确具有较强的人际传播能力^[6-7],且人群普遍易感。Li等^[6]基于早期武汉NCP发病资料,计算基本再生数为2.2,意味着该期间内平均1例典型病例可导致2.2例新感染者。在其他不同的研究中,这一数值介于2.8~3.9之间^[8-9]。

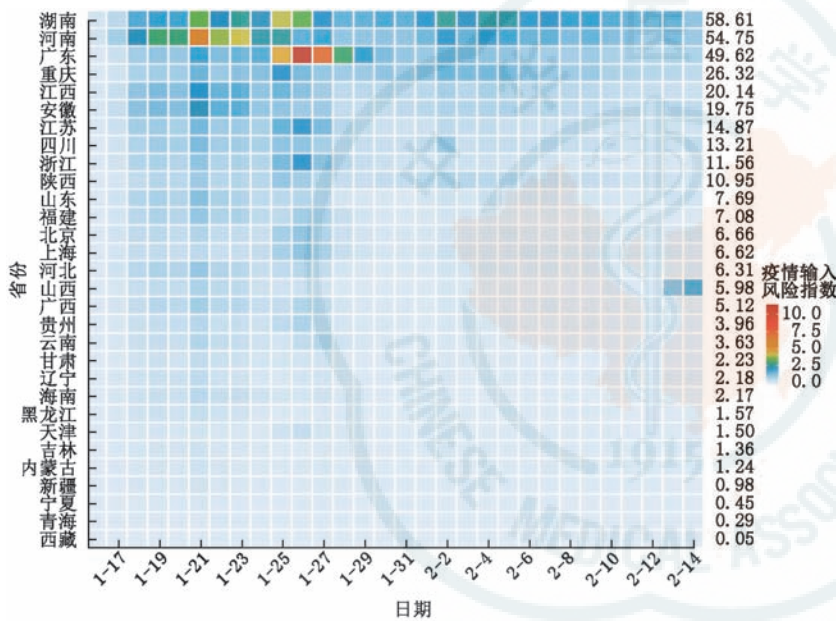
截至2020年2月14日,湖北累计病例占了全国的75.81%,是最早暴发NCP的地区。本研究发现,湖北迁出到全国其他省的人口迁出规模指数与各省的累计病例数具有较高相关性,即随着从湖北流入到各省的人口数增加,其他省的报告病例数也明显上升。这提示其他省的疫情在很大程度上受湖北疫情影响,多数病例以湖北输入为主。这种影响可能随着各省采取相应的防控措施有所降低,但仍不可忽视。

武汉是湖北的重灾区,也是最早报告病例的城市,累计病例数占整个湖北的60.61%。同时,武汉



不含中国香港、澳门和台湾数据

图2 截至2020年2月14日湖北省、武汉市和湖北省其他市人口迁出指数与各省发病数关系(A)及疫情输出变化趋势(B)图



不含中国香港、澳门和台湾数据

图3 截至2020年2月14日我国各省从湖北输入疫情的风险时间变化趋势图

是湖北人口迁出的主要城市,主要迁出至河南、湖南、广东、安徽和江西,且武汉的人口迁出与各省的累计报告数的相关性高于湖北其他市。综合考虑武汉和湖北其他市的人口迁出指数和疫情情况,对湖北的整体输出风险进行评估,发现1月23日前湖北输出风险主要来源于武汉,此后波动下降。这可能与武汉暂停全市公共交通并且关闭机场、火车站、高速等离汉通道有关^[10],这项强有力的控制措施明显降低了武汉疫情的输出风险。1月23日后,湖北疫情输出风险主要来源湖北其他市。这可能与湖北其他市在该时间段尚未实施人口流出措施,人口迁出较多有关,同时受到其他市的新增病例数增加的影响。本研究结果提示,积极采取围堵策略^[11],继续加大对湖北疫情控制力度,对密切接触

者、疑似病例进行集中隔离和医学观察,降低发病率,同时控制人口流动将有利于降低湖北疫情的输出风险,也减少其他省份疫情输入的压力。

对全国各省从湖北输入疫情进行风险评估,发现均受到湖北疫情输出的影响,其中湖南、河南和广东是受湖北疫情输出影响最大的省份。浙江的输入疫情风险排第9位,但累计报告病例数排全国第3位,这可能与浙江发生了比较多的本地病例有关。这3个受输入疫情影响较大省的单日最高风险均出现在疫情前期,且河南、湖南相对较早,广东稍晚几天,这可能与疫情早期湖北人口流出没有限制,而湖南和河南与湖北紧邻,人口流出较多

有关。截至2020年2月14日,湖北仍具有一定的疫情输出风险,在未来一段时间内,尤其是在复工复产的大背景下,具有较高输入风险的省份仍应加强对湖北迁入人员的筛查,最大程度降低输入疫情风险。

本研究也存在一定的局限性。首先,仅对湖北的迁出人口进行分析,未考虑到其他省相互流动的情况,但其他省疫情相对湖北较轻,这种影响相对较小;其次,基于省级空间尺度对传播风险进行评估,对于甄别更小空间尺度高风险地区的能力有限,若在地级市或县区水平进行风险评估,将更有利于精准防控;第三,本研究未考虑隐性感染存在的传染风险,可能低估了疫情的输出风险;第四,本研究基于人口流动数据,偏向于评估疫情的输入风

险,对于本地暴发的疫情难以评估;最后,迁出人群的特征可能并不与湖北省的人群特征相同,可能带来风险评估误差。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

志谢 百度地图团队公开提供百度迁徙指数;向奋战在新型冠状病毒肺炎疫情防控前线的广大工作人员致敬

参 考 文 献

- [1] 国家卫生健康委员会. 截至 2 月 17 日 24 时新型冠状病毒肺炎疫情最新情况[EB/OL].[2020-02-18]. http://wsjkw.gov.cn/zwyw_yqxx/content/post_2899607.html.
- [2] World Health Organization. Coronavirus disease (COVID-2019) situation reports -28[EB / OL]. [2020-02-18]. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports>.
- [3] Liu T, Hu J, Xiao J, et al. Time-varying transmission dynamics of Novel Coronavirus Pneumonia in China[J]. bioRxiv,2020, In pressing. DOI: 10.1101/2020.01.25.919787.
- [4] 湖北省统计局. 湖北省 2019 年统计年鉴[EB / OL]. [2020-02-04]. <http://tjj.hubei.gov.cn/tjsj/sjkscx/tjn/qstjn>.
- [5] World Health Organization. Coronavirus [EB / OL]. [2020-02-05].<https://www.who.int/health-topics/coronavirus>.
- [6] Li Q, Guan X, Wu P, et al. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia[J]. NEJM, 2020, In pressing. DOI:10.1056/NEJMoa2001316.
- [7] Chan JF, Yuan S, Kok K, et al. A familial cluster of pneumonia associated with the 2019 novel coronavirus indicating person-to-person transmission: a study of a family cluster[J]. Lancet, 2020, 395(10223): 514-523. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30154-9.
- [8] Wu JT, Leung K, Leung GM. Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modelling study[J]. Lancet, 2020, In pressing. DOI: 10.1016 / S0140-6736(20) 30260-9.
- [9] 周涛,刘权辉,杨紫陌,等. 新型冠状病毒感染肺炎基本再生数的初步预测[J]. 中国循证医学杂志,2020,待发表.
- [10] 武汉市新型冠状病毒感染的肺炎疫情防控指挥部. 市新型冠状病毒感染的肺炎疫情防控指挥部通告(第 1 号)[EB/OL].[2020-02-05].http://www.wuhan.gov.cn/hbgovinfo/zwgk_8265/tzgg/202001/t20200123_304065.html.
- [11] 陈伟,王晴,李媛秋,等. 我国新型冠状病毒肺炎疫情早期围堵策略概述[J]. 中华预防医学杂志, 2020,54(3):239-244. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2020.03.003.

(收稿日期:2020-02-19)

(本文编辑:梁明修)

CHINESE MEDICAL ASSOCIATION
1915
中 华 医 学 会