

# 有效控制措施下新型冠状病毒流行趋势模拟



柏如海<sup>1,2</sup>, 董琬月<sup>2</sup>, 石莹<sup>3</sup>, 冯敖梓<sup>1</sup>, 李莉<sup>1</sup>, 徐安定<sup>4\*</sup>, 吕军<sup>1,2\*</sup>

1. 暨南大学附属第一医院临床研究部(广州 510630)
2. 西安交通大学公共卫生学院(西安 710061)
3. 陕西中医药大学公共卫生学院(陕西咸阳 712046)
4. 暨南大学附属第一医院神经内科(广州 510630)

**【摘要】目的** 模拟新型冠状病毒(2019-nCoV)携带者进入未感染2019-nCoV地区,在有效对发病患者进行治疗与隔离并降低该地区人与人之间密切接触的前提下,模拟2019-nCoV感染的流行趋势。**方法** 通过公开信息获得2019-nCoV感染者的疾病潜伏时间,患病就诊后疾病治愈时间,以及密切接触感染概率。采用主体建模的方法,构建简易交互环境。假设特定易感人群中第一例2019-nCoV感染者出现临床症状后能够得到有效的治疗与隔离,同时该人群中其余人之间相互密切接触降至最低,评估病毒携带者进入未感染2019-nCoV人群后,2019-nCoV感染的流行状况。**结果** 截至2020年1月30日,感染2019-nCoV的患者疾病潜伏时间为6.6天(95%CI: 5.9-7.5),感染2019-nCoV发病就诊后疾病治愈时间为9.8天(95%CI: 8.8-10.8)。当病毒携带者进入未感染2019-nCoV人群时,随着该人群每日密切接触人数的上升,感染人数增加。当该人群出现第一例感染者发病时,每日密切接触15人造成的感染人数是密切接触5人的42.4倍。潜伏期结束后,2019-nCoV感染人数将保持一定时间的稳定,感染人数在16天开始出现下降,27天后患病人数趋于0。**结论** 在新感染2019-nCoV的区域内,对2019-nCoV感染发病病人有效的治疗与隔离,同时在发现病例后有效减少该区域内人群间密切接触的前提下,2019-nCoV的传播可能不会超过1个月。

**【关键词】** 新型冠状病毒; 主体建模; 流行趋势; 模拟

## Simulation of epidemic trends of 2019-nCoV epidemic trend under effective control measures

Ru-Hai BAI<sup>1,2</sup>, Wan-Yue Dong<sup>2</sup>, Ying SHI<sup>3</sup>, Ao-Zi FENG<sup>1</sup>, An-Ding XU<sup>4\*</sup>, Jun LYU<sup>1\*</sup>

1. Department of Clinical Research, The First Affiliated Hospital of Jinan University, Guangzhou 510630, China;

2. School of Public Health, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China;

3. School of Public Health, Shaanxi University of Traditional Chinese Medicine, Xianyang 712046, Shaanxi Province, China;

4. Department of Neurology, The First Affiliated Hospital of Jinan University, Guangzhou 510630, China;

\*Corresponding author: Jun LYU, E-mail: lyujun2019@163.com; An-Ding XU, E-mail: tlil@jnu.edu.cn

DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.2020.02.03

基金项目: 国家社会科学基金一般项目(16BGL183)

\*通信作者: 吕军, 研究员, 博士研究生导师, E-mail: lyujun2019@163.com;

徐安定, 主任医师, 博士研究生导师, E-mail: tlil@jnu.edu.cn

**【Abstract】 Objective** To simulate the epidemic trends of 2019-nCoV in a susceptible population under effective control measures. **Methods** Data was collected from public resources. Agent-based modeling (ABM) was used to modeling the epidemic trend of 2019-nCoV. Assume that the first case of 2019-nCoV infection can be effectively treated and isolated after clinical symptoms appear, and the close contact between the other subjects is minimized. We assessed the epidemic trend of 2019-nCoV infection after the virus carriers enter the uninfected 2019-nCoV region. **Results** As of January 30, 2020, the latency of 2019-nCoV was 6.6 days (95% CI: 5.9-7.5), and the cure time of 2019-nCoV was 9.8 days (95% CI: 8.8-10.8). When the virus carriers entered the uninfected area, as the number of daily close contacts increased, the number of infections increased. At the time of the first symptom patient, 42.4 times people were infected with close contact with 15 people a day than 5 people a day. After the end of incubation period, the number of 2019-nCoV infections will remain stable for a certain period of time. The number of infections will start to decline after 16 days, and absent after 27 days. **Conclusion** With the effective control measures, including isolation and effective treatment of patients with 2019-nCoV, effective decrease the close contact between the population, the epidemic of 2019-nCoV would not seem to more than one month.

**【Keywords】** 2019-nCoV; Agent-based modeling; Epidemic trend; Simulation

2019年12月,武汉市出现病毒性肺炎病例,经过确认这类疾病的病原为新型冠状病毒,世界卫生组织(WHO)确认并命名为2019-nCoV,该病原感染所致的肺炎称为新型冠状病毒肺炎。

WHO报告显示,人与人之间的传播正在发生<sup>[1]</sup>。目前,该病毒感染确诊人数仍然在逐渐迅速上升。我国31个省(自治区、直辖市)和新疆生产建设兵团均出现了2019-nCoV的确诊病例,累计确诊病例17205例,疑似病例21558例(截至2月2日24时)<sup>[2]</sup>。此外,泰国、日本、韩国、美国等20余个国家也相继确诊了新型冠状病毒肺炎病例。2020年1月31日,WHO进一步将2019-nCoV感染的肺炎确定为国际关注的突发公共卫生事件<sup>[3]</sup>。

为应对这一突发的公共卫生问题,武汉市于1月23日正式实施《传染病防治法》规定的“甲类传染病疫区封锁”措施;各省相继正式启动重大公共突发卫生事件一级响应;倡导居民采取公共场所佩戴口罩、减少出行等个人防护措施;对病人进行隔离治疗,通过控制传染源,切断传播途径等方式以期对疫情进行有效控制。

现阶段,更好了解2019-nCoV在人群中的传播模式及控制措施效果至关重要,这些信息将有助于部署协调进一步地疫情防控,评估控制措施效果,同时也有助于减少群众恐慌情绪。

本研究拟通过主体建模(Agent-based modeling, ABM),模拟一定时空范围内的交互环境下,无症状的2019-nCoV携带者进入一定时空范围内未感染2019-nCoV人群后,2019-nCoV感染在该人群中的流行状态。本研究假设该时空范围内2019-nCoV感染者发病后,能够对其进行有效的治疗与隔离,同时该时空范围内能够有效减少人与人之间的密切接触。本研究通过对不同密切接触水平下2019-nCoV感染的趋势进行模拟,以为相关人员提供参考信息。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究材料

获本研究中,通过2019-nCoV的密切接触感染概率、感染2019-nCoV的患者疾病潜伏时间、患病就诊后疾病治愈时间和每日人均密切接触人员数量对2019-nCoV流行趋势进行仿真模拟,以上数据均由公开

信息获得<sup>[4,5]</sup>。潜伏时间为首次接触 2019-nCoV 时间与发病时间之差, 疾病治愈时间为 2019-nCoV 确诊时间与治愈出院时间之差。截至 2020 年 1 月 30 日, 通过网络媒体等公开信息途径, 共收集到具有详细潜伏期患者 64 例, 具有详细治愈信息患者 84 例。由于目前尚缺少有关 2019-nCoV 的接触感染概率数据, 本研究通过目前公开报告中的全国 2019-nCoV 感染确诊病例数与全国密切接触 2019-nCoV 感染者人数进行估计。假设未发病的个人(包括易感居民与处于潜伏期的患者)每日分别与 5 人、10 人, 以及 15 人进行密切接触, 评估不同密切接触水平对 2019-nCoV 流行产生的影响。

## 1.2 研究方法

本研究中, 采用 Bootstrap 方法抽样 1000 次对感染 2019-nCoV 的患者疾病潜伏时间, 2019-nCoV 的接触感染概率, 以及患病就诊后疾病治愈时间的不确定性进行评估; 采用主体建模的方法, 对此次 2019-nCoV 的流行趋势进行分析。

ABM 是一种用来模拟具有自主意识主体的行动和相互作用的计算模型, 已被广泛应用于包括生物学、生态学和社会科学在内的多个领域<sup>[6]</sup>。本研究运用 ABM 模型, 对 2019-nCoV 的爆发流行趋势进行模拟。由于 2019-nCoV 传播过程较为复杂, 构建 ABM 模型相关参数较难获得, 故对 2019-nCoV 传播现实状况中的复杂过程进行了一定的简化。

主体是 ABM 模型的基础。本研究假定 ABM 模型中每一个主体的状态可分为易感、感染、发病、免疫四个状态。易感状态的主体感染疾病后为感染状态, 该状态有一定时间的潜伏期, 在此期间能够有一定概率传染给接触到的其他主体。经过潜伏期后, 感染疾病的主体开始发病, 本研究中, 假定对所有发病主体, 都能够进行有效的治疗与隔离, 同时, 在发现第一例发病主体后, 所有主体能够有效减少与其它主体的密切接触。发病的主体经过一定时间的治疗, 痊愈后获得免疫。由于目前尚缺少 2019-nCoV 感染治愈后具体的免疫时间, 故本研究未评

估主体免疫后对疾病传播的影响。

本研究中, 使用 ABM 模型构建了一个简化的交互环境, 在该环境中假设每一个主体的活动范围仅为家庭与公共场所。在疾病的症状出现前(即主体未感染或主体感染但是处于潜伏期), 主体正常离开家去公共场所, 然后再返回家中。为模拟 2019-nCoV 的流行趋势, 共设置了 10 000 个主体, 并随机对其中 1 个主体进行感染。ABM 模拟实验共进行 10 次, 取平均值作为实验结果。

数据的整理与清理使用 R3.6.2 软件实现, ABM 模型使用 Anylogic 软件实现。

## 2 结果

### 2.1 模型参数

模型参数设置结果如表 1 所示。

表 1 模型参数  
Table 1. Model parameters

参数	值
2019-nCoV 感染患者密切接触感染率 <sup>a</sup> (%)	10.4(8.7,13.0)
感染 2019-nCoV 的患者疾病潜伏时间 (天)	6.6(5.9,7.5)
感染 2019-nCoV 发病就诊后疾病治愈时间 (天)	9.8(8.8,10.8)

注: <sup>a</sup>2019-nCoV 密切接触感染率 = 全国确诊病例数 / 全国密切接触病例人数

### 2.2 有效控制措施下新型冠状病毒流行趋势

当第一例 2019-nCoV 携带者进入易感人群, 随着人与人之间密切接触数目的增加, 2019-nCoV 感染人数随之增加。截止第一例 2019-nCoV 感染患者发病时, 密切接触 15 人的病毒感染人数是密切接触 5 人的 42.4 倍。当第一例 2019-nCoV 感染发病后, 在对患者进行有效隔离, 同时有效减少其它人群人与人之间密切接触的前提下, 2019-nCoV 感染人数将保持一定时间的稳定, 并于 16 天出现下降, 27 天患病人数趋近于 0, 如图 1 所示。

## 3 讨论

本研究模拟了在简易交互环境下, 处于潜伏期的 2019-nCoV 携带者进入易感人群后, 2019-nCoV 感染随时间的变化状况。研究结果显示, 随着人群密切接触人数的上升, 感染 2019-nCoV 的人数随之增加。在理想

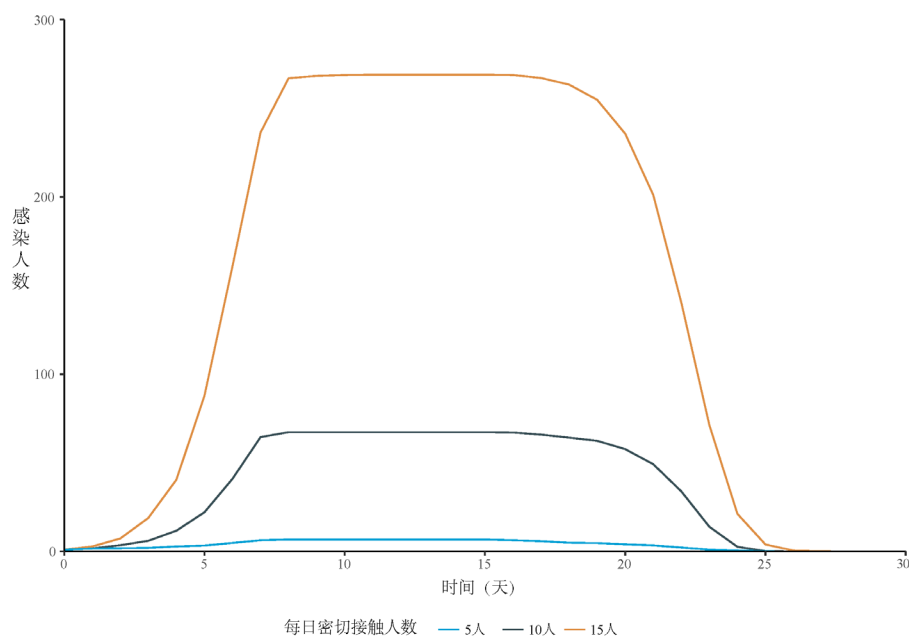


图1 有效控制措施下新型冠状病毒流行趋势  
Figure 1. Epidemic trends of novel coronaviruses under effective control measures

状况下，即该易感人群中出现第一例感染 2019-nCoV 的人员发病起，该群体中所有成员能够有效减少人与人之间的密切接触，同时所有感染 2019-nCoV 发病的患者均能够得到有效的隔离与治疗，在病毒携带者进入该群体后第 25 天，2019-nCoV 感染患病人数降至 0 例。

本研究估计了感染 2019-nCoV 的潜伏期。本研究结果显示，感染 2019-nCoV 的患者疾病潜伏时间为 6.6 天 (95%CI: 5.9-7.5)，该结果略高于之前发表的研究结果<sup>[7]</sup>。Qun Li 等的研究通过对 10 例确诊的 2019-nCoV 感染病例进行分析，判断 2019-nCoV 感染的潜伏时间为 5.2 天 (95%CI: 4.1-7.0)<sup>[7]</sup>。这种差异可能是由于 Qun Li 等的研究报到时间相对较早，病例数相对较少所致。

减少人员的密切接触是控制 2019-nCoV 传播的重要手段，也是疫情爆发后防控工作的重点。本研究结果表明，2019-nCoV 携带者进入一个尚未感染 2019-nCoV 的易感人群，在潜伏期内，随着人与人之间密切接触人数的上升，感染 2019-nCoV 的人数随之增加，密切接触人数为 15 人时的病毒感染人数是密切接触 5 人的 42.4 倍。因此，减少人与人之间的密切接触，将有助于控制处于潜伏期的病毒携带者与健康的易感个体的密切接触，从而减少易感人群病毒感染数量。

同时，对密切接触者采取较为严格的医学观察等预防性公共卫生措施也具有重要意义。

需要注意的是，随着农历春节的结束，即将到来的“返工潮”可能会对 2019-nCoV 的防控带来巨大的压力，尤其是对于劳务输入省份。为防止疫情的二次爆发，积极落实早发现、早隔离、早报告、早治疗是控制 2019-nCoV 流行的重要手段。同时宣传正确的生活习惯，包括正确佩戴口罩，正确且及时洗手，减少去人多且封闭的场所等，合理膳食，适量运动，戒烟限酒，心理平衡都将有助于控制 2019-nCoV 疫情。

本研究采用基于主体建模的方法对此次疫情在防控下的传播趋势进行了分析，其中主要参数由公开信息获得。但考虑到对于潜伏期与治疗时间而言，由于可能依然有一定数量处于潜伏期的患者尚未发病，大量的患者仍然在接受治疗，同时，通过公开信息收集的数据较为有限，故对于潜伏期时间与治疗时间的评估中可能存在一定的误差，这些误差会对模型产生一定的影响。同时，本研究的假设相对较为理想，这可能导致对 2019-nCoV 持续时间有一定的低估。

尽管如此，本研究通过模拟理想公共卫生状况下，处于潜伏期的病毒携带者对易感人群传播病毒的过程发现，在对感染 2019-nCoV 发病病人有效的治疗与隔离的情况下

(同时在发现病例后有效减少人群间密切接触的前提下),一定空间范围内 2019-nCoV 的传播可能不会超过 1 个月。该结果可能会对大众以及相关工作人员提供一定的参考。

#### 参考文献:

- 1 WHO. Novel Coronavirus (2019-nCoV) Situation Report-4 [EB/OL]. (2020-01-24)[Access on 2020-02-08]. [https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200124-sitrep-4-2019-ncov.pdf?sfvrsn=9272d086\\_8](https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200124-sitrep-4-2019-ncov.pdf?sfvrsn=9272d086_8).
- 2 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 截至 1 月 31 日 24 时新型冠状病毒感染的肺炎疫情最新情况 [EB/OL]. (2020-01-31) [2020-02-08]. <http://www.nhc.gov.cn/xcs/yqtb/202002/84faf71e096446fdb1ae44939ba5c528.shtml>.
- 3 WHO. Statement on the second meeting of the International Health Regulations (2005) Emergency Committee regarding the outbreak of novel coronavirus (2019-nCoV)[EB/OL]. (2020-01-30) [Access on 2020-02-08]. [https://www.who.int/news-room/detail/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-\(2005\)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-\(2019-ncov\)](https://www.who.int/news-room/detail/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-(2005)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-(2019-ncov)).
- 4 澎湃新闻. 广东省两例新型冠状病毒感染儿童治愈出院 [EB/OL]. (2020-01-30)[2020-02-09]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1657157709003157267&wfr=spider&for=pc>.
- 5 北京日报. 上海又有 3 例确诊病例治愈出院累计治愈 44 例 [EB/OL]. (2020-02-09)[2020-02-09]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1658034296056673298&wfr=spider&for=pc>.
- 6 Bonabeau E. Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems[J]. Proc Natl Acad Sci U S A, 2002, 99 Suppl 3(Suppl 3): 7280 - 7287. DOI:10.1073/pnas.082080899.
- 7 Li Q, Guan X, Wu P, et al, Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia. N Engl J Med. [published online ahead of print January 29, 2020]. DOI: 10.1056/NEJMoa2001316.

收稿日期: 2020 年 2 月 4 日 修回日期: 2020 年 2 月 9 日

本文编辑: 杨智华