Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modelling study

Joseph T Wu, Kathy Leung, Gabriel M Leung

导读人： 朱虹丽

背景介绍

Wu, Joseph T., Kathy Leung, and Gabriel M. Leung. "Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modelling study." The Lancet 395.10225 (2020): 689-697.

- 自2019年12月31日以来，湖北省武汉市报告了一例由2019新型冠状病毒(COVID-19)引起的案例。目前，2019新型冠状病毒已经蔓延到中国其他城市甚至是国外很多国家。

- 本研究根据从武汉输出到中国大陆以外城市的病例数量，估计了武汉的疫情规模，并预测了国内和全球流行病的公共卫生风险程度，同时考虑了社会和非药物预防的干预措施。

研究方法

- 本研究采用以下易感(Susceptible)-暴露(Exposed)-感染(Infections)-恢复(Recovery)(SEIR)模型进行模拟。首先根据武汉向中国大陆以外城市输出的病例数，推断了武汉市COVID-19的基本繁殖数R0，以及从2019年12月1日至2020年1月25日的病情暴发规模。

- 然后估计了从武汉输出到中国大陆其他城市的病例数量。

- 最后，预测了COVID-19在中国大陆内外的传播，其中包括2020年1月23日至24日实施的大武汉地区检疫和其他公共卫生干预措施。

估算武汉COVID-19的传播率和暴发规模

- 自2019年12月武汉疫情以来，本研究采用以下SEIR模型进行模拟：

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\frac{S(t)}{N}\left(\frac{R_0}{D_I}I(t) + z(t)\right) + L_{I,W} + L_{C,W}(t) - \left(\frac{L_{W,I}}{N} + \frac{L_{W,C}(t)}{N}\right)S(t)$$

$$\frac{dE}{dt} = \frac{S(t)}{N}\left(\frac{R_0}{D_I}I(t) + z(t)\right) - \frac{E(t)}{D_E} - \left(\frac{L_{W,I}}{N} + \frac{L_{W,C}(t)}{N}\right)E(t)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \frac{E(t)}{D_E} - \frac{I(t)}{D_I} - \left(\frac{L_{W,I}}{N} + \frac{L_{W,C}(t)}{N}\right)I(t)$$

估算武汉COVID-19的传播率和暴发规模

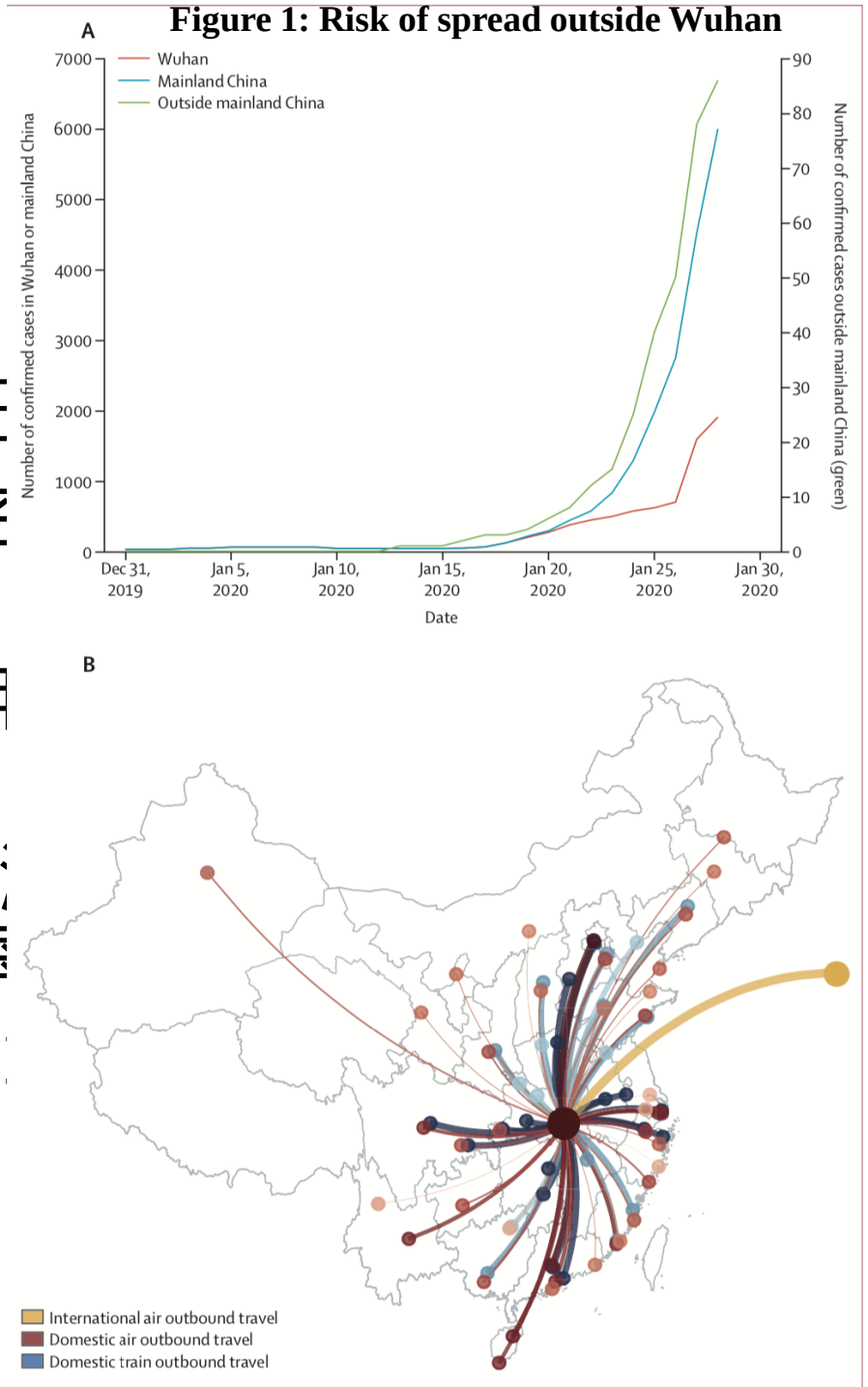
- 本文假设旅行行为不受疾病的影响，因此国际病例的输出是按照一个非匀速的过程进行的，即 $$\lambda(t)=\frac{L_{W,I}}{N}\left(E(t)+I(t)\right)$$
- 因此，预计某日的国际病例输出数量为 $$\lambda_d=\int_{d-1}^{d}\lambda(u)\mathrm{d}u$$
- 综合起来，似然函数是 $$L(R_0)=\prod_{d=D_s}^{D_e}\frac{\mathrm{e}^{-\lambda_d}{\lambda_d}^{x_d}}{x_d!}$$

数据来源

- 武汉是华中地区主要的航空和火车运输枢纽。
- 本文根据三个数据源估算了武汉每天的航空、火车和公路出境旅客数量：
- （1）从官方航空指南(OAG)获得的2019年1月和2月全球飞往武汉的航班月度预订数量；
- （2）2019年1月6日至3月7日腾讯(中国深圳)数据库定位服务记录的武汉至中国大陆300多个地级市的每日国内交通旅客人数；
- （3）武汉市交通管理局估算并于2019年12月发布的2020年春运期间国内往返武汉的客运量。

数据来源

- 武汉是华中地区主要的航空和火车运输枢纽
- 本文根据三个数据源估算了武汉每天的航空客数量：
- （1）从官方航空指南(OAG)获得的2019年汉的航班月度预订数量；
- （2）2019年1月6日至3月7日腾讯(中国)记录的武汉至中国大陆300多个地级市的每
- （3）武汉市交通管理局估算并于2019年运期间国内往返武汉的客运量。



研究优势

- 本文的研究优势包括：

- 本研究中使用的建模技术与其他研究人员使用的非常相似，这些研究人员也正为描述COVID-19的疫情动态这一同样的目标而努力着。在本文的方法论上达成的共识为预测的有效性提供了一些支持。

- 另一个优势是，本文的模型是用OAG和腾讯的最新移动数据进行参数化的。

即时预报和预测COVID-19在中国和世界范围内的传播

- 本研究将上述SEIR模型扩展为SEIR-meta-population模型来模拟COVID-19在中国大陆的传播，假设COVID-19在所有城市的传播率相似。
- 使用校准过的腾讯移动数据中的日均交通量，对300多个地级市之间的人口移动进行了建模。

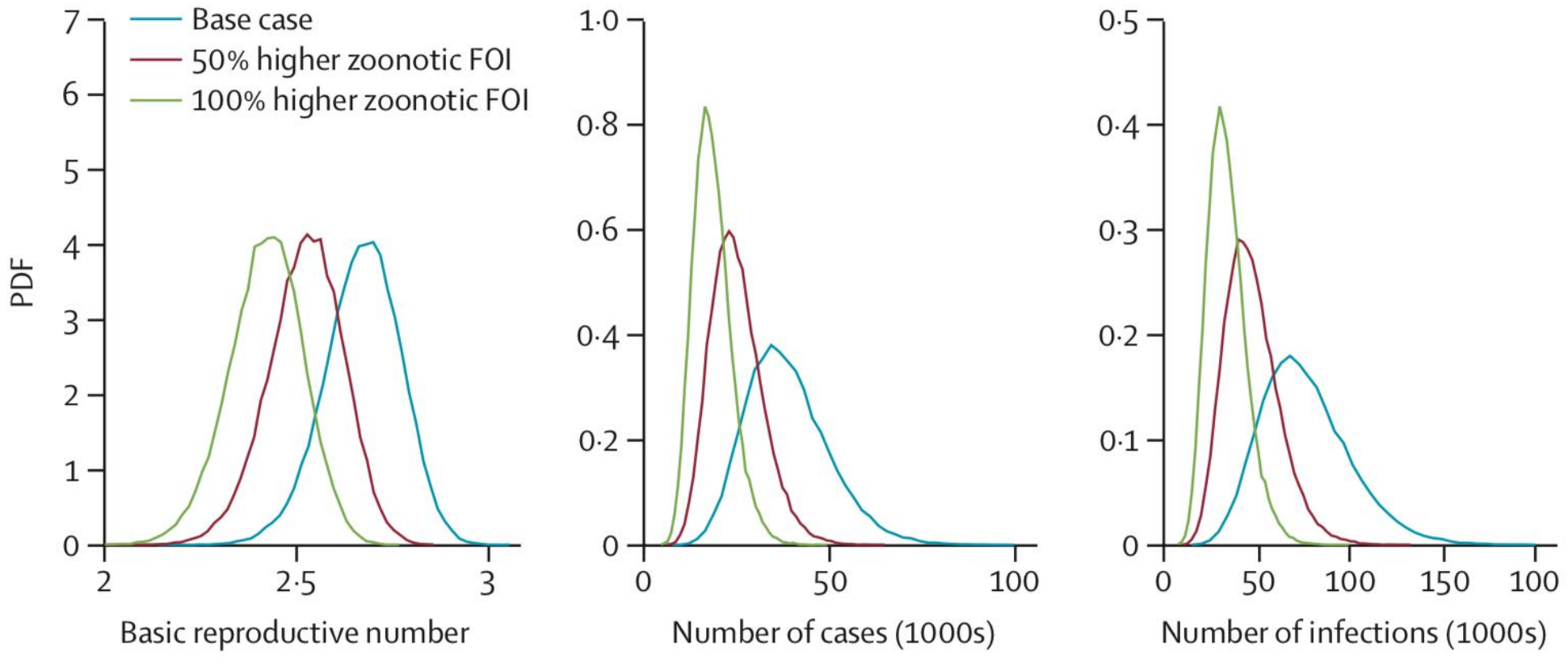
即时预报和预测COVID-19在中国和世界范围内的传播

- 以往的研究表明，非药物干预可能能够将流感传播减少至多50%。因此，本文模拟了中国大陆的局部疫情，假设2020年1月23日隔离武汉后，COVID-19的传播率分别降低了0%、25%和50%。如果传播率能降低1-1/R0，疫情就会消失。
- 此外，本文还考虑了减少50%的城市间流动性。最后，假设武汉全市范围的人口隔离对全国其他地区的疫情传播轨迹的影响可以忽略不计，并通过一个极端假设来检验这一假设，即在2020年1月23日无限期消除武汉所有的入境和出境人员流动。

研究结果

- 图2总结了本文对2020年1月25日武汉COVID-19的基本繁殖数量R0和爆发规模的估计。

Figure 2: Posterior distributions of estimated basic reproductive number and estimated outbreak size in greater Wuhan



研究结果

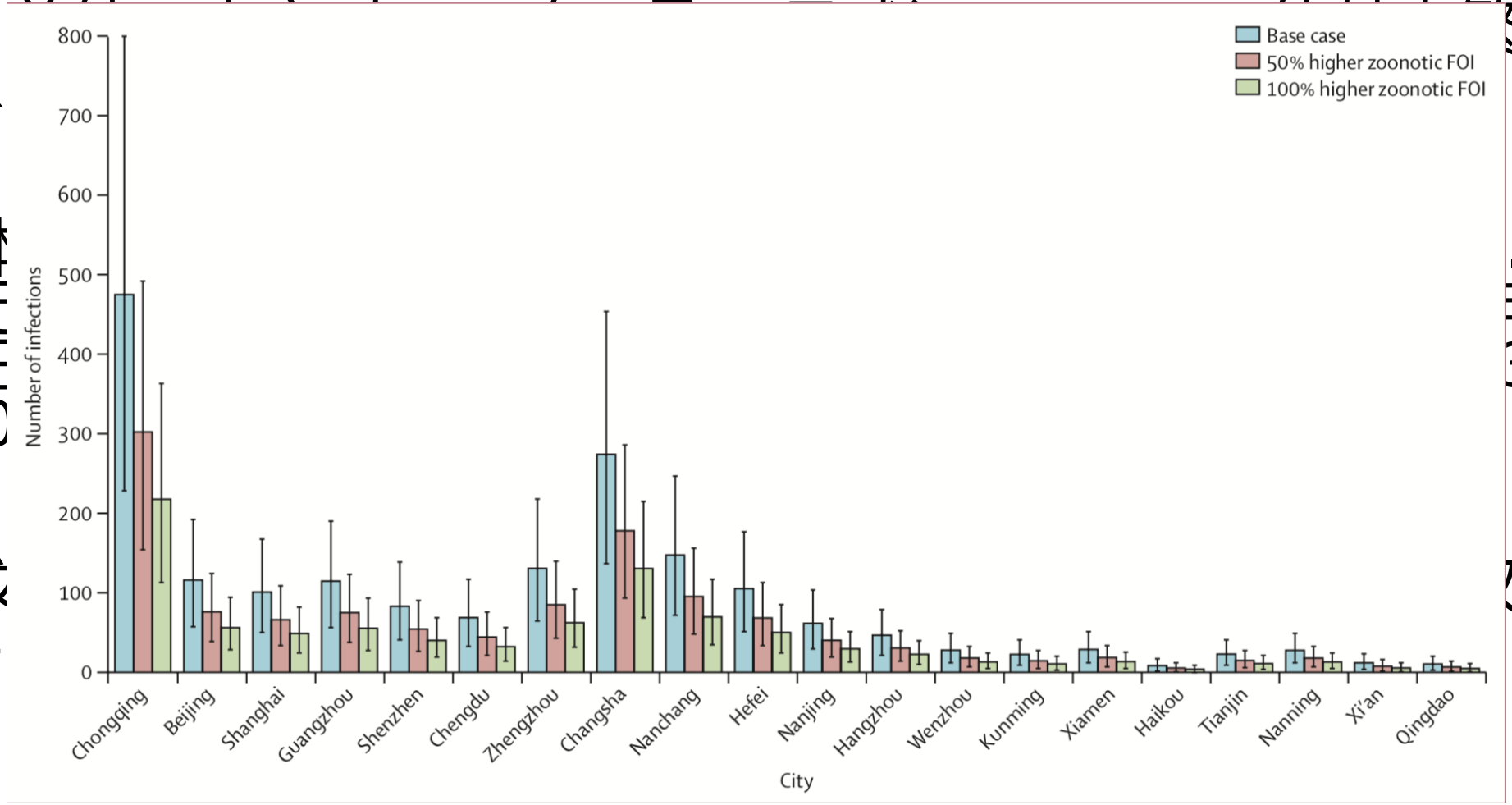
- 图2总结了本文对2020年1月25日武汉COVID-19的基本繁殖数量R0和爆发规模的估计。

- 在本文的基线情景中，估计R0为2.68(95% CrI 2.47-2.86)，流行倍增时间为6.4天(95% CrI 5.8-7.1)；截至2020年1月25日，本文估计大武汉地区共感染75815人(95% CrI 37304-130330)。

- 本文还估计了重庆、北京、上海、广州和深圳，分别从武汉输入了461例、113例、98例、111例和80例的感染病例。

研究结果

Figure 3: Estimated number of cases exported to the Chinese cities to which Wuhan has the highest outbound travel volumes



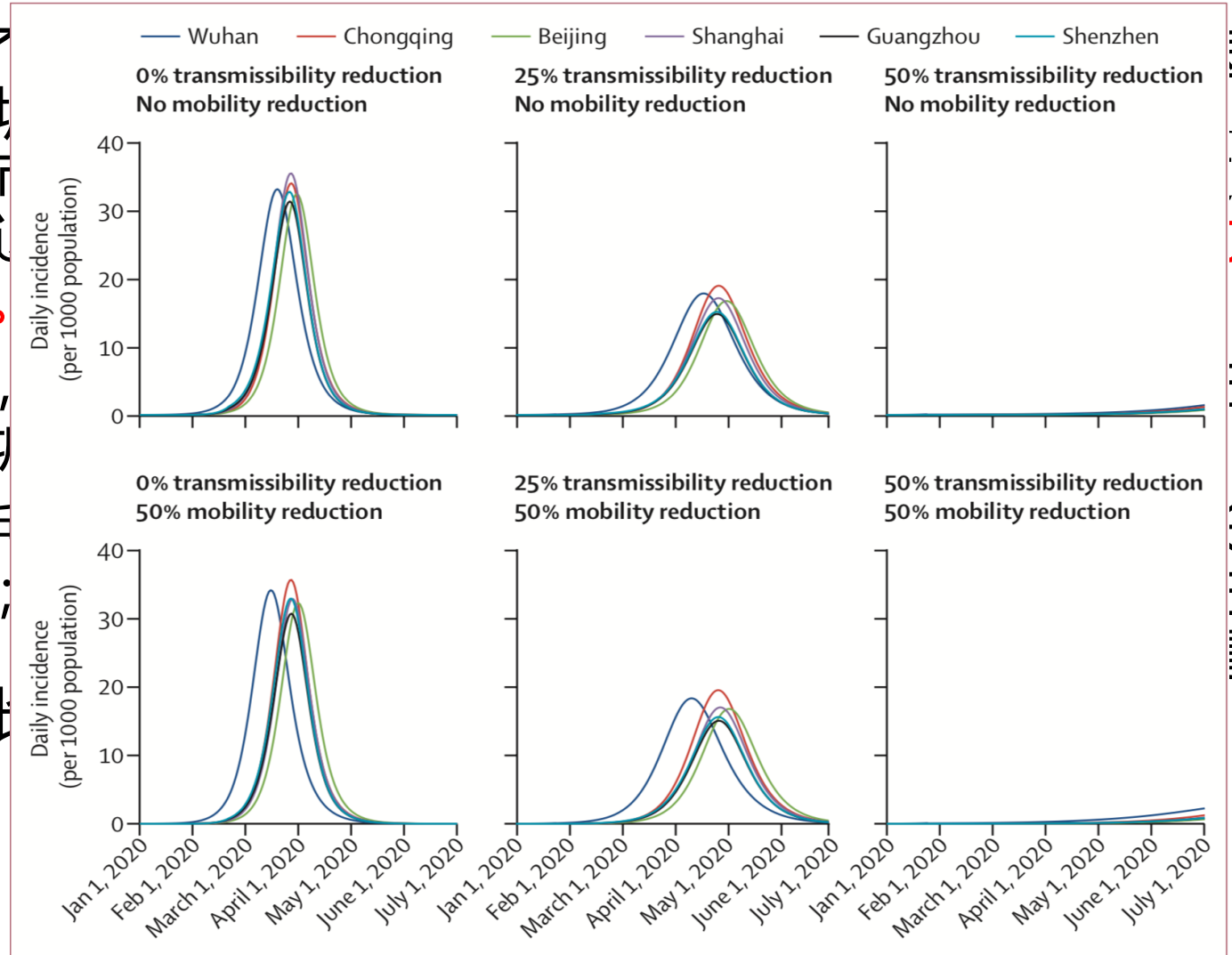
- 图2 … 殖数量R
- 在本 … .86)，流行 … 年1月25日 … 304-130
- 本文 … 输入了4

研究结果

- 图4显示了武汉、重庆、北京、上海、广州和深圳的流行病曲线，R0为2.68，假设所有城市的传染率下降0%、25%或50%，以及2020年1月23日武汉被隔离后的城市间流动性下降0%或50%。如果传播率下降超过1-1/R0=63%，疫情就会消退。本研究的估计表明，城市间流动性减少50%对疫情动态的影响微不足道。
- 本文估计，如果传染率不降低，武汉疫情将在2020年4月左右达到高峰，中国大陆各城市局部疫情将滞后1-2周。
- 如果全国所有城市的传染率降低25%，那么当地疫情的增长速度和规模都将大大降低；疫情高峰将推迟1个月左右，规模将减少50%左右。如果传染率降低50%，病毒繁殖率将达到1.3左右，在这种情况下，疫情将在2020年上半年缓慢增长，不会达到高峰。

研究结果

Figure 4: Epidemic forecasts for Wuhan and five other Chinese cities under different scenarios of reduction in transmissibility and inter-city mobility



- 图4显示了 …曲线，R0为2.68，假设所有城 …月23日武汉被隔离后的城市 …1-1/R0=63%，疫情就会消 …疫情动态的影响微不足道。
- 本文估计， …右达到高峰，中国大陆各城
- 如果全国 …速度和规模都将大大降低； …右。如果传染率降低50%， …将在2020年上半年缓慢增长

研究结果

- 本文的模拟结果表明，大武汉地区人口流动的大规模隔离对疫情的未来发展轨迹的影响微乎其微，因为中国多个主要城市已经确诊了超过几十个感染病例。
- 鉴于武汉大量病例输入，中国多个主要城市的局部疫情可能已经呈指数级增长。
- 考虑到北京、上海、广州和深圳总共占中国大陆所有出境国际航空旅行的50%以上，其他国家可能在2020年上半年面临COVID-19流行的风险。

研究结果讨论

- 在出现人际传播、报告病例数呈指数级增长的疫情期间，即时预报和预测对国内外公共卫生规划和控制至关重要。

- 在本研究中，本文估计了到目前为止，COVID-19在武汉的爆发规模和疾病可能传播到国内其他城市的程度。

- 研究结果表明，中国多个主要城市已经出现了独立的、自我维持的人与人之间的传播，其中许多城市是全球交通枢纽，出入境旅客数量巨大（如北京、上海、广州和深圳）。

研究局限性

- 本文的研究有几个主要的局限性:

- 首先，本文假设旅行行为不受疾病状况的影响，所有感染最终都有症状(尽管可能非常轻微)。如果感染风险较高的个体不太可能出国旅行，或者如果无症状感染的比例很大，本文就会低估大武汉的疫情规模。

- 其次，本文对传播能力和暴发规模的估计，与本文关于引发武汉疫情的人畜共患机制的假设有一定的敏感性。然而，本文关于中国主要城市病例出口程度的总体结论将保持不变，即使这是本文对传染率的最低估计。

研究局限性

- 本文的研究有几个主要的局限性:

- 第三，本文的的流行病预测是基于2019年的城市间流动数据，这些数据不一定能反映2020年的流动模式，尤其是在当前公众对COVID-19造成的健康威胁保持警惕和应对的情况下。

- 第四，目前对COVID-19传播的季节性知之甚少。如果COVID-19与流感类似，在传播过程中具有很强的季节性，本研究的疫情预测可能不可靠。

谢谢大家的观看！