

Моделирование тенденций распространения эпидемии нового коронавируса с учетом эффективных мер контроля

New Medicine: [2020, 30 \(2\): 8-12. DOI: 10.12173 / j.issn.1004-5511.2020.02.03.](#)

Авторы: Жу-Хай БАЙ, Вань-Юэ Дун, Ин ШИ, Ао-Цзы ФЭН, Ань-Дин СЮЙ, Цзюнь ЛЮ

Авторский отдел:

1. Отдел клинических исследований, Первая клиническая больница при университете Синьцзян (Гуанчжоу 510630)
2. Школа здравоохранения, Университет Сиань Цзяотун (Сиань 710061)
3. Школа здравоохранения, Университет традиционной китайской медицины Шааньси (Сяньян 712046, Шааньси)
4. Отдел неврологии Первая клиническая больница при университете Цзинань (Гуанчжоу 510630)

Ключевые слова: новый коронавирус, агентное моделирование, имитационное моделирование распространения эпидемии

Обзор

Цель: симитировать попадание носителей нового типа коронавируса (2019-nCoV) на незараженные территории, и на основании моделирования лечения и изолирования больных пациентов, а также сокращения прямого контакта между людьми на данной территории наблюдать за тенденциями распространения эпидемии вируса 2019-nCoV.

Методы:

Информация из открытых источников была использована для получения данных о:

- латентном периоде у пациентов, зараженных 2019-nCoV;
- времени, которое необходимо для излечения болезни после приёма у доктора;
- вероятности прямого контакта с переносчиком вируса.

При помощи агентного моделирования была создана простая интерактивная среда для тестирования.

Предполагалось, что при возникновении первого заражения 2019-NCoV среди уязвимых групп населения инфицированного человека можно эффективно изолировать и лечить после

появления клинических симптомов, в то время как прямой контакт людей среди оставшейся части населения можно свести к минимуму.

Вследствие этого возможно было рассчитать степень распространения инфекции 2019-nCoV, после того как носители вируса оказались среди незараженных людей.

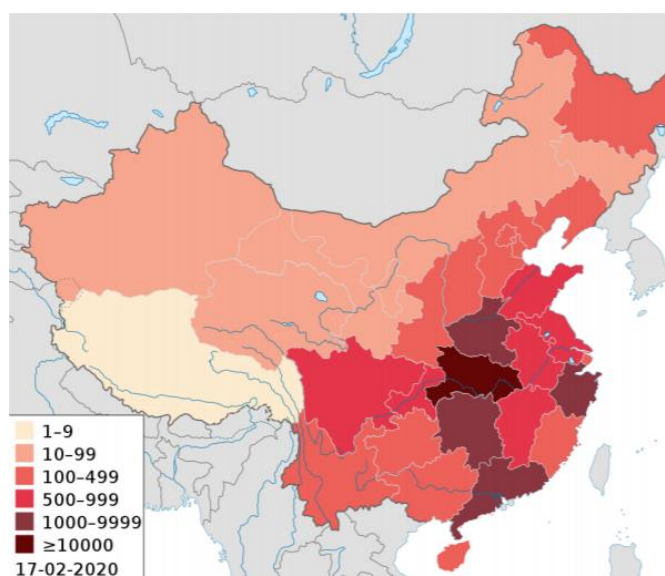
Результаты: по состоянию на 30 января 2020 г. у пациентов, зараженных 2019-nCoV, латентный период составил 6.6 дней (95% (ДИ) Доверительный интервал 5.9-7.5), а время, необходимое для полного выздоровления после проявления 2019-nCoV, составило 9.8 дней (95% ДИ: 8.8-10.8).

Когда носитель вируса оказывается среди людей, не зараженных 2019-nCoV, количество инфицированных возрастает, так как люди ежедневно тесно контактируют друг с другом.

После того как в группе появляется первый зараженный, количество инфицированных вследствие прямого контакта с 15 людьми в день в 42.4 раза превышает количество инфицированных, которые близко взаимодействовали с 5 людьми.

После инкубационного периода число случаев заражения 2019-nCoV остается неизменным в течение определенного времени. Через 16 дней количество инфицированных 2019-nCoV начинает уменьшаться и через 27 дней достигает 0.

Вывод: при эффективном лечении и изоляции пациентов в начале эпидемии 2019-nCoV и предположении, что частота прямого контакта между людьми была снижена, на территории, где только появились случаи заражения 2019-nCoV, распространение болезни может продолжаться не более 1 месяца.



В декабре 2019 года в городе Ухань произошла вспышка вирусной пневмонии. После того, как стало известно, что патогеном данного заболевания является новый коронавирус, Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) подтвердила это и присвоила патогену название «2019-nCoV». Вид пневмонии, вызванный этой патогенной инфекцией, называется «новая коронавирусная пневмония»

ВОЗ сообщает, что передача вируса происходит при прямом контакте людей [1]. На данный момент количество подтвержденных случаев заражения продолжает стремительно расти. В 2019 году 31 провинция (автономные области и муниципалитеты) и Синьцзянский производственно-строительный корпус сообщили о 17 205 подтвержденных случаях заражения 2019-nCoV, а число случаев, в которых были обнаружены похожие симптомы, составило 21 558 (по данным от 2 февраля) [2].

В дополнение к этому, более 20 стран, включая Таиланд, Японию, Южную Корею и Соединенные Штаты, также подтвердили выявление случаев заражения новым типом пневмонии. 31 января 2020 г. ВОЗ объявила чрезвычайную ситуацию в области здравоохранения международного масштаба в связи с эпидемией 2019-nCoV [3].

Чтобы справиться с внезапной проблемой в сфере здравоохранения, 23 января Ухань официально ввел «блокаду в связи с инфекционным заболеванием класса А», предусмотренную «Законом о предотвращении и контроле инфекционных заболеваний».

Все провинции официально отреагировали на возникшую чрезвычайную ситуацию: жителям рекомендовалось принять меры индивидуальной защиты, такие как ношение масок в общественных местах и ограничение передвижений. Они также изолировали пациентов и обеспечили их лечением, стремясь локализовать источник инфекции и прекратить распространение болезни, тем самым взяв эпидемию под эффективный контроль.

На этом этапе важно лучше понимать способ распространения вируса 2019-nCoV среди населения и результативность мер контроля. Данная информация будет полезна в случаях осуществления и координации мер по профилактике эпидемии и контролю за ней в дальнейшем, оценки эффективности мер контроля, а также для снижения уровня паники.

В данном исследовании для изучения распространения инфекции среди населения было использовано агентное моделирование (АМ), которое позволило создать интерактивную имитационную модель, которая отражала окружающую среду в определенном пространственно-временном интервале. В модели бессимптомные носители вируса 2019-nCoV вводятся в незараженное население в рамках определенного пространственно-временного интервала.

В исследовании предполагается, что после появления 2019-nCoV в пространственно-временном интервале пациентов можно эффективно изолировать и лечить, а также снизить частоту контактов между людьми.

Более того, это исследование имитирует тенденции распространения 2019-nCoV при разных уровнях близкого взаимодействия людей друг с другом.

1. Материалы и методы

1.1 Материалы исследования

Для моделирования тенденций распространения эпидемии 2019-nCoV в данном исследовании были использованы следующие данные:

- вероятность передачи инфекции при прямом контакте людей,
- длительность инкубационного периода у пациентов, инфицированных 2019-nCoV,

- время, необходимое для того, чтобы вылечить болезнь после консультации врача,
- частота прямого контакта с людьми у одного человека в день.

Данные были получены из открытых источников [4, 5].

Инкубационный период – это разница между первым заражением 2019-nCoV и моментом проявления симптомов, а время, необходимое для излечения от болезни – это разница между временем диагностирования 2019-nCoV и выздоровлением.

В связи с отсутствием данных по вероятности заражения вирусом 2019-nCoV при контакте с людьми настоящее исследование рассчитывает приблизительно возможное количество подтвержденных случаев заражения 2019-nCoV в стране и число людей, близко взаимодействующих с носителями вируса в стране.

Было сделано предположение, что люди, у которых не выявлен этот вирус (включая уязвимые группы населения и пациентов, находящихся в инкубационном периоде), ежедневно контактируют с 5, 10 и 15 людьми соответственно, что позволяет оценить, какое влияние оказывают различные уровни прямого контакта развитие эпидемии 2019-nCoV.

1.2 Методы исследования

В данном исследовании был использован метод Бутстрэп, в рамках которого модель запускали 1000 раз и наблюдали, как меняются показатели ниже:

- латентный период болезни у пациентов, зараженных 2019-nCoV;
- вероятность заражения при контакте с вирусом;
- неопределенный период времени, необходимый для того, чтобы вылечить болезнь после ее проявления.

Агентное моделирование (АМ) было использовано для анализа тенденции распространения 2019-nCoV.

АМ используется для моделирования действий и взаимодействий агентов с персонализированными свойствами и поведением. Оно находит широкое применение во многих сферах, включая биологию, экологию и социологию [6].

Данное исследование использует агентную модель для имитации распространения эпидемии 2019-nCoV.

Поскольку распространение 2019-nCoV – это относительно сложный процесс, получение соответствующих параметров для построения модели АМ затруднительно. Поэтому в модели сложный процесс распространения 2019-nCoV был до некоторой степени упрощен.

Человек, представленный в виде агента – основа этой имитационной модели.

Исследование предполагает, что статус каждого человека в модели можно разделить на 4 вида: уязвимый, инфицированный, заболевший и с приобретенным иммунитетом.

Уязвимый человек становится инфицированным после заражения болезнью. Далее инфекция проходит инкубационный период, в течение которого болезнь может передаваться с определенной вероятностью другим людям в ходе контакта.

После инкубационного периода инфекционное заболевание становится очевидным, и человек считается больным. В этом исследовании было сделано предположение, что:

- каждого больного можно эффективно изолировать и лечить;
- как только выявлен первый случай заболевания, люди могут успешно минимизировать личные контакты;
- после определенного промежутка лечения человек выздоравливает и становится невосприимчивым к болезни.

Из-за недостатка точной информации о том, как долго иммунитет человека, выработанный после излечения от 2019-nCoV, может его защищать, данное исследование не оценивает влияние выработки иммунитета человека на передачу болезни.

Для этого исследования в модели была создана простая интерактивная среда. Было выдвинуто предположение, что человек постоянно находится дома или в общественных местах.

До появления симптомов болезни (то есть человек не инфицирован или находится в инкубационном периоде) он обычно выходит из дома, направляясь в общественное место, а после этого возвращается обратно.

Чтобы имитировать тенденцию распространения эпидемии 2019-nCoV, в модели существовали 10 000 человек, один из которых был случайно заражен.

Модель запускалась 10 раз, и средние значения показателей были взяты как результат эксперимента.

Полученные данные были отсортированы и откорректированы с помощью программы R3.6.2, а модель создавалась на основе ПО [AnyLogic](#).

2. Результаты

2.1 Параметры модели

Результаты работы модели с заданными параметрами представлены в Таблице 1.

Параметр	Значение
Частота заражения при личном контакте у пациентов с 2019-nCoV (%)	10.4 (8.7, 13.00)
Продолжительность инкубационного периода у пациентов, зараженных 2019-nCoV (дни)	6.6 (5.9, 7.5)
Время, которое необходимо, чтобы излечиться 2019-nCoV после того, как человек прошел лечение (дни)	9.8 (8.8, 10.8)

Таблица 1: уровень заражения 2019-nCoV при личном контакте = количество подтвержденных случаев в стране / количество случаев заражения при личном контакте в стране

2.2 Тенденции распространения нового коронавируса при эффективных мерах контроля

После того, как первый носитель 2019-nCoV оказался среди уязвимого населения и количество личных контактов между людьми выросло, увеличилось число заражений 2019-nCoV.

С момента появления первого случая заражения 2019-nCoV количество инфицированных, имевших личный контакт с 15 людьми, в 42.4 раза превысило количество инфицированных, которые имели личный контакт с 5 людьми.

После появления 2019-nCoV количество зараженных этим вирусом оставалось неизменным на протяжении определенного периода времени благодаря эффективной изоляции пациентов и ограничению личных контактов среди других представителей населения. После этого в течение 16 дней наблюдался спад, и количество пациентов на 27-й день достигло нуля, как показано на Рисунке 1.

[график]

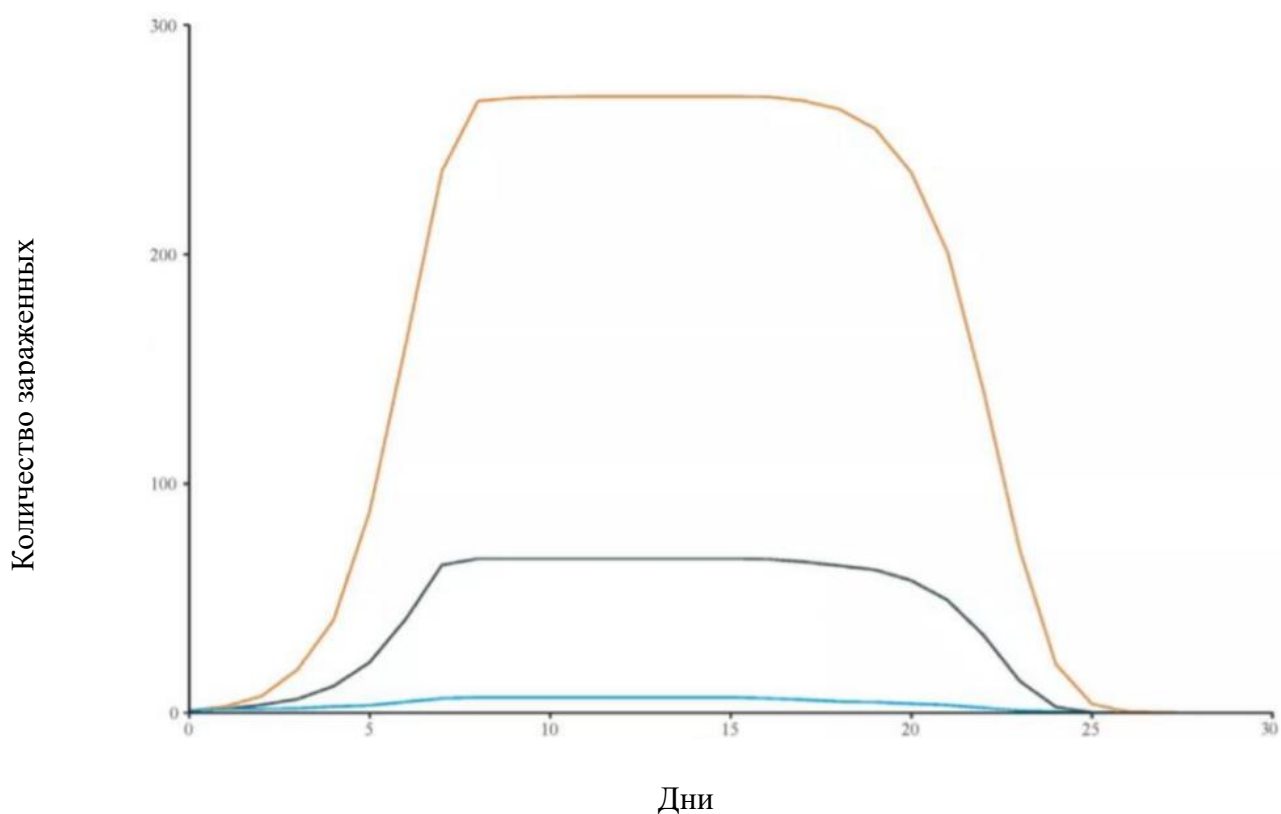


Рисунок 1. Тенденции распространения нового коронавируса при эффективных мерах контроля.

3. Обсуждение

В данном исследовании был смоделирован процесс распространения 2019-nCoV в течение некоторого времени после того, как носитель инфекции оказался среди уязвимого населения.

Результаты показывают, что вместе с увеличением частоты личных контактов росло количество людей, зараженных 2019-nCoV.

При идеальных условиях количество пациентов, зараженных 2019-nCoV, снизилось до 0 через 25 дней после начала распространения коронавируса. Для этого после появления первого случая заражения 2019-nCoV среди уязвимого населения всем представителям необходимо

снизить число личных контактов, а всех пациентов, зараженных 2019-nCoV, следует изолировать и обеспечить лечением.

Данное исследование рассчитывает латентный период 2019-nCoV. Результаты исследования показывают, что этот период составляет 6.6 дней (95% ДИ: 5.9-7.5), что немного выше ранее опубликованных результатов [7].

В исследовании, проведенном Цюнь Ли и соавт., было проанализировано 10 подтвержденных случаев заражения 2019-nCoV и установлено, что латентный период 2019-nCoV составляет 5.2 дня (95% ДИ: 4.1-7.0) [7]. Результаты могут отличаться из-за того, что данные были относительно ранними и количество случаев, взятых Цюнь Ли и соавт., было относительно небольшим.

Снижение количества тесных контактов среди людей – важный механизм контроля за распространением 2019-nCoV, который также является основной составляющей профилактики и контроля после эпидемии.

Результаты данного исследования демонстрирует, что происходит, когда носитель 2019-nCoV оказывается среди уязвимого населения, не зараженного 2019-nCoV.

В течение инкубационного периода вместе с увеличением числа личных контактов с людьми растет количество зараженных 2019-nCoV. Когда число личных контактов достигает отметки 15, то количество инфицированных в 42.4 раза превышает количество зараженных, которые контактируют с 5 инфицированными людьми.

Таким образом, снижение количества личных контактов поможет контролировать близкое взаимодействие бессимптомных, но зараженных носителей вируса со здоровыми и уязвимыми людьми, что позволит уменьшить число заражений среди уязвимого населения.

В то же время очень важно ввести такие превентивные меры в сфере здравоохранения, как более тщательное медицинское наблюдение за людьми, которые имеют личные контакты между собой.

Следует отметить, что, когда в конце Нового года по лунному календарю работники одновременно начнут возвращаться на свои места, меры по профилактике и контролю 2019-nCoV могут оказаться под серьезным ударом, особенно в провинциях, импортирующих рабочую силу.

Чтобы не допустить повторение эпидемии, необходимо активно применять меры, которые используются для контроля 2019-nCoV: раннее выявление заражения, ранняя изоляция, раннее предоставление данных и лечение на ранней стадии.

Вместе с тем популяризация правильного образа жизни, куда входит правильное ношение масок, тщательное и своевременное мытье рук, снижение количества людей в общественных закрытых помещениях, рациональное питание, умеренные физические нагрузки, отказ от курения и алкоголя, а также достижение психологического равновесия, помогут сдерживать эпидемию 2019-nCoV.

В данном исследовании для анализа тенденции распространения эпидемии в контролируемых условиях был использован метод, основанный на агентном моделировании.

Основные параметры для моделирования были взяты из открытых источников. Тем не менее, если учесть инкубационный период и время на лечение, некоторое количество пациентов может все еще находиться в инкубационном периоде, но не считаться заболевшими, и многие пациенты еще проходят лечение.

Более того, информация, полученная из открытых источников относительно ограничена, поэтому она может содержать ошибки в вычислении инкубационного периода и времени на лечение, которые, в свою очередь, определенным образом повлияют на модель.

Таким образом, предположения, которые были выдвинуты в данном исследовании, могут привести к тому, что длительность заражения 2019-nCoV будет занижена.

Тем не менее, во время проведения данного исследования, в котором имитировался процесс распространения вируса среди уязвимого населения посредством контакта с бессимптомными носителями инфекции при идеальном состоянии системы здравоохранения, мы выяснили, что при эффективном лечении и изоляции пациентов, зараженных 2019-nCoV (с условием, что, после выявления первого случая заражения, частота тесного контактирования людей друг с другом была успешно минимизирована), распространение 2019-nCoV на определенной территории может длиться не больше месяца. Полученные результаты могут служить справочной информацией для работников государственного сектора и служащих из других областей.

Ссылки

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>
2. National Health Commission, PRC. As of 24:00 on January 31 update on pneumonia of novel coronavirus infection [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. The Paper. Two novel coronavirus infected children in Guangdong province were cured and discharged [EB / OL]. (2020-01-30) [2020-02-09].
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1657157709003157267>
5. Beijing Daily. Three more confirmed cases were discharged from Shanghai, and a total of 44 cases were cured [EB / OL]. (2020-02-09) [2020-02-09].
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1658034296056673298>
6. Bonabeau E. Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2002, 99 Suppl 3 (Suppl 3): 7280-7287. DOI: 10.1073 / pnas.082080899
https://www.pnas.org/content/99/suppl_3/7280
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
<https://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMoa2001316>