

ДИНАМИКА И ЛОГИКА ПРОТИВОЭПИДЕМИЧЕСКИХ МЕР

Ю. В. Раскина¹, А. А. Новкунская¹, А. А. Барчук^{1,2} ✉¹ Европейский университет в Санкт-Петербурге, Санкт-Петербург, Россия² Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова, Санкт-Петербург, Россия

Текущая эпидемия коронавирусной инфекции COVID-19 породила целый ряд вызовов для организации здравоохранения и экономики стран мира. Несмотря на то что все государства столкнулись с одним и тем же заболеванием, принимаемые экономические и организационные меры сдерживания его распространения заметно различаются в зависимости от их социальных, демографических и географических характеристик. Основываясь на аналитическом обзоре исследовательской и научной литературы, международных руководств и других источников, посвященных противоэпидемиологическим мерам, данная работа систематизирует знания о стратегиях сдерживания эпидемий, разработанных до текущей пандемии, и описывает вызовы, которые поставила перед миром вспышка нового коронавируса, и решения, принятые для ее предотвращения. В частности, показано, в какой последовательности и комбинации страны вводили разные меры, чем они руководствовались при отмене ограничений, а также то, как исследователи анализировали влияние разных стратегий борьбы с эпидемией не только на распространение инфекции, но и на социальные и экономические процессы.

Ключевые слова: COVID-19; пандемия; нефармацевтические меры общественного здравоохранения; обзор

Вклад авторов: А. А. Барчук, Ю. В. Раскина — идея статьи; Ю. В. Раскина, А. А. Новкунская — подготовка рукописи; Ю. В. Раскина — подготовка рисунков и таблиц. Все авторы принимали равное участие в правке, обсуждении и утверждении окончательной версии статьи.

✉ **Для корреспонденции:** Антон Алексеевич Барчук
ул. Гагаринская, д. 6/1, г. Санкт-Петербург, 191187; abarchuk@eu.spb.ru

Статья получена: 07.12.2020 **Статья принята к печати:** 13.12.2020 **Опубликована онлайн:** 19.12.2020

DOI: 10.47183/mes.2020.025

DYNAMICS AND LOGIC OF COVID-19 CONTAINMENT MEASURES

Raskina YuV¹, Novkunskaia AA¹, Barchuk AA^{1,2} ✉¹ European University at Saint Petersburg, Saint Petersburg, Russia² Petrov National Medical Research Center of Oncology, Saint Petersburg, Russia

The ongoing COVID-19 pandemic has confronted public health systems and world economies with serious challenges. Faced with the same disease, countries responded to the threat differently depending on their social, demographic and geographic characteristics. Based on the analysis of scientific literature, international guidances and other sources of information about infection prevention and control, this article systematizes knowledge about containment strategies developed before the current pandemic, describes challenges posed by the coronavirus outbreak and highlights solutions. Specifically, the article describes the timing and order of the introduced measures, considerations for lifting the restrictions and the impact of different containment strategies on the spread of the infection, society and economy.

Keywords: COVID-19; pandemic; non-pharmaceutical public health measures; review

Author contribution: Barchuk AA, Raskina YuV conceived the article; Raskina YuV, Novkunskaia AA wrote the manuscript; Raskina YuV prepared figures and tables. All authors contributed equally to the final version of the manuscript.

✉ **Correspondence should be addressed:** Anton A. Barchuk
Gagarinskaya, 6/1, Saint Petersburg, 191187; abarchuk@eu.spb.ru

Received: 07.12.2020 **Accepted:** 13.12.2020 **Published online:** 19.12.2020

DOI: 10.47183/mes.2020.025

Первые случаи респираторного заболевания, вызванные новым коронавирусом SARS-CoV-2, были обнаружены в Ухане (город на юге Китая) в декабре 2019 г. Инфекционное заболевание, называемое COVID-19 (от *coronavirus disease* 2019), быстро распространилось по миру, и уже 11 марта ВОЗ объявил пандемию [1]. Крупнейшие пандемии XX в. были связаны с вирусами гриппа. С каждой пандемией исследователи и эксперты в области общественного здравоохранения все лучше понимают динамику подобных заболеваний и вырабатывают методы, необходимые для замедления передачи вируса с целью снижения заболеваемости и смертности. Центральным элементом борьбы с распространением инфекции являются меры, которые разрывают цепочки передачи вируса от человека: идентификация и изоляция носителей вируса, отслеживание и карантин людей, имевших контакты с носителями вируса, а также меры, направленные на снижение вероятности заражения (в первую очередь, личная гигиена и социальное дистанцирование). Во время текущей пандемии усилия правительств стран мира, предпринятые для снижения нагрузки на системы

здравоохранения и рисков для населения, были беспрецедентными по своим масштабам. К сожалению, эти меры не были «бесплатными» — они причинили колоссальный ущерб экономике, благосостоянию граждан, нанесли урон их физическому и психическому благополучию. В начале эпидемии действия правительств были обусловлены в основном опытом борьбы с прошлыми пандемиями. С течением времени число и длительность мер нарастали, резкое ужесточение некоторых из них иногда позже оценивали как чрезмерное, несущее слишком большие издержки для общества. На сегодняшний день, когда многие страны готовятся к повторному введению мер, настало время обобщить опыт по их введению и обсудить стратегии их постепенного ослабления.

Что такое противоэпидемические меры и какие они бывают?

Стратегии борьбы с эпидемиями включают в себя замедление передачи вируса, подавление и предотвращение вспышек заболевания. Действия, которые

отдельные лица, учреждения, сообщества, правительства могут предпринять для предотвращения или снижения скорости распространения инфекций, можно разделить на следующие категории [2–4]:

- меры наблюдения и реагирования, включающие выявление и изоляцию случаев заражения, отслеживание и изоляцию контактов;

- меры индивидуальной защиты, включающие в себя гигиену рук, физическое дистанцирование, респираторный этикет, использование закрывающих органы дыхания масок;

- меры по контролю состояния окружающей среды, включающие дезинфекцию поверхностей и предметов моющими средствами, а также использование ультрафиолетового (УФ) излучения, усиление вентиляции и изменение влажности воздуха;

- меры физического и социального дистанцирования в общественных местах, включающие физическое дистанцирование, сокращение или отмену массовых собраний, а также избегание скопления людей (например, в общественном транспорте, ресторанах, театрах, магазинах), введение удаленного режима работы и учебы, ограничения на пребывание вне места проживания;

- меры по ограничению перемещений, направленные на предотвращение перемещения вируса из одного района в другой. Они включают предоставление рекомендаций населению относительно поездок, организацию упорядоченных заранее поездок во избежание заторов на вокзалах, автобусных терминалах и в аэропортах, ограничения или запрет на перемещение на местном или национальном уровне;

- специальные меры могут быть введены для защиты особых групп населения (например, подверженных риску более тяжелого течения заболевания, проживающих в учреждениях с ограниченным доступом (домах престарелых, тюрьмах и т. д.), имеющих повышенный профессиональный риск воздействия вируса).

Возможно применение мер, напрямую не связанных с распространением инфекции, но помогающих успешно с ней бороться [5]. Так, правительства могут:

- создавать/активировать чрезвычайные административные структуры и вводить чрезвычайное положение;

- усиливать поддержку исследований и разработок, включая, например, финансирование разработки вакцин и методов лечения;

- укреплять систему здравоохранения, т. е. вводить меры, охватывающие изменения в ее финансировании, материальном обеспечении, условиях и режиме работы медицинских специалистов, а также в других областях;

- использовать более широкие способы социальной поддержки, направленные на минимизацию негативных последствий вводимых ограничений на социальную и экономическую деятельность населения, включая меры по поддержке экономики, отдельных лиц, государственных служб.

Таким образом, в арсенале правительств есть целый ряд стратегий, которые могут сократить количество контактов между людьми, что в свою очередь снижает возможность его передачи от одного человека к другому. Если эти вмешательства работают хорошо, они позволяют сократить масштабы эпидемии и перераспределить число случаев во временной перспективе, снижая риск перегрузки систем здравоохранения. Однако для выбора конкретных мер, времени их введения и их интенсивности необходимо спрогнозировать эффективность каждой из них против распространения инфекции, что довольно

сложно сделать ввиду отсутствия необходимой для этого информации в случае нового вируса, такого как SARS-CoV-2.

Эффективность принимаемых мер зависит от большого числа факторов, от демографических до географических. Сложным вопросом является также уровень выполнения населением страны мер по сдерживанию эпидемии. Так, на возможность людей оставаться дома и «социально дистанцироваться» влияет доход и тип занятости разных социальных групп. В более экономически благополучных странах, в странах с лучшей социальной поддержкой граждан, и, наконец, у более состоятельных людей внутри страны ниже риски потери дохода во время эпидемии и больше ресурсов справиться с ней в случае, если эти риски реализуются.

Наконец, при принятии решений о введении тех или иных мер по сдерживанию распространения вируса правительства не могут игнорировать их «побочные эффекты», т. е. социальные последствия и экономические издержки.

Что мы знали об эффективности противозидемиологических мер до вспышки COVID-19?

Предыдущие пандемии, связанные с респираторными инфекциями, были вызваны вирусами гриппа. Наиболее масштабной из них была пандемия, вызванная «испанкой» (вирусом А (H1N1)), которая, по разным оценкам, привела к смерти 20–50 млн человек в 1918–1919 гг. Менее масштабные пандемии произошли в 1957–1958 гг. («азиатский грипп», вирус А (H2N2)), в 1968 г. («гонконгский грипп», вирус А (H3N2) — число жертв каждой из них оценивают в 1–4 млн смертей), и в 2009–2010 гг. (вирус гриппа А (H1N1), 100 000–400 000 смертей) [6, 7]. На протяжении XXI в. произошли две эпидемии коронавируса (SARS в 2002 г. и MERS в 2012 г.), но их распространение не было столь масштабным. Так, в случае SARS было зафиксировано около 8000 случаев заражения и 800 смертей, в случае MERS — около 2500 случаев и 850 смертей [8].

Рекомендации по подавлению и предотвращению распространения COVID-19 во многом были основаны на информации, полученной во время этих эпидемий.

Так, в 2019 г. ВОЗ выпустило рекомендации в отношении нефармацевтических мер общественного здравоохранения для смягчения рисков и масштабов эпидемического и пандемического гриппа [2]. Его авторами был проведен метаанализ исследований эффективности той или иной меры с использованием баз MEDLINE, PubMed, EMBASE, Кокрановской библиотеки и Кокрановского центрального реестра контролируемых исследований. При выработке рекомендаций учитывали качество доказательств эффективности мер, соотношение их пользы и вреда, необходимые ресурсы для осуществления меры и ее практическую осуществимость (табл. 1).

К сожалению, качества и количества доказательств эффективности многих из мер недостаточно, чтобы делать вывод о возможности их внедрения при пандемии гриппа. И если отсутствие рекомендаций по использованию некоторых средств связано с доказанной неэффективностью (УФ-излучение), то в отношении закрытия границ стран просто нет достаточного количества данных. Исследований эффективности мер сдерживания во время эпидемий SARS и MERS еще меньше, чем в случае

Таблица 1. Рекомендации по применению мер в зависимости от степени тяжести эпидемии или пандемии гриппа

Степень тяжести*	Пандемия	Эпидемия
Любая	Гигиена рук Респираторный этикет Маски для людей с симптомами заболевания Дезинфекция поверхностей и предметов Усиленная вентиляция Изоляция больных Гигиена рук	Гигиена рук Респираторный этикет Маски для людей с симптомами заболевания Дезинфекция поверхностей и предметов Усиленная вентиляция Изоляция больных Рекомендации для путешественников
Умеренная	<i>Все перечисленное выше, плюс</i> Недопущение скопления людей	<i>Все перечисленное выше, плюс</i> Недопущение скопления людей
Высокая	<i>Все перечисленное выше, плюс</i> Маски для всего населения Меры, принимаемые в школах, закрытие школ	<i>Все перечисленное выше, плюс</i> Маски для всего населения Меры, принимаемые в школах, закрытие школ
Экстраординарная	<i>Все вышеперечисленное, плюс</i>	<i>Все вышеперечисленное, плюс</i>
	Меры, принимаемые на рабочих местах, закрытие предприятий Ограничение внутренних поездок	Меры, принимаемые на рабочих местах, закрытие предприятий
Не рекомендовано при любой степени	УФ-излучение Изменение влажности воздуха Отслеживание контактов Карантин лиц, подвергшихся опасности заражения Скрининг на въезде и выезде Закрытие границ	УФ-излучение Изменение влажности воздуха Отслеживание контактов Карантин лиц, подвергшихся опасности заражения Скрининг на въезде и выезде Ограничение внутренних поездок Закрытие границ

Примечание: * — оценка тяжести пандемии гриппа (pandemic influenza severity assessment, PISA) основана на оценке контагиозности, тяжести заболевания и влияния на систему здравоохранения и общество, и подразделяется на пять степеней: активность отсутствует или находится ниже сезонного порога, низкая, умеренная, высокая и экстраординарная [9] (по данным [2]).

гриппа. Если говорить о рекомендациях ВОЗ, то в 2015 г. было выпущено, а в 2019 г. обновлено Руководство по профилактике инфекций и борьбе с ними во время оказания медицинской помощи при вероятных или подтвержденных случаях инфицирования коронавирусом ближневосточного респираторного синдрома [10], в котором говорится, что *передача от человека человеку происходит, главным образом, в медицинских учреждениях и в гораздо меньшей степени в общинах, в основном между членами домашнего хозяйства, что необходимо дальнейшие исследования, чтобы лучше понять факторы риска передачи от животного человеку и от человека человеку.* Соответственно, рекомендации были даны в основном относительно организации помощи заболевшим лицам в медицинских учреждениях, рекомендации же для организации мер на уровне индивидов, сообществ или правительств не были сформулированы.

Заметим, что в данных рекомендациях отсутствует такая мера, как отслеживание контактов и карантин лиц, подвергшихся опасности заражения, поскольку это неэффективно в случаях гриппа. То, что COVID-19 может протекать бессимптомно, и такие случаи вносят существенный вклад в его передачу, было установлено позже. Поскольку способность инфицировать другого человека начинается, вероятно, за 2–3 дня до появления симптомов, отслеживание контактов и карантин подвергшихся опасности заражения лиц является очень эффективной мерой для борьбы с распространением этого вируса [11, 12].

Перчатки, которые настойчиво было рекомендовано (а в некоторых регионах и требовалось) носить в России в качестве меры персональной защиты, не упоминаются в рекомендациях ВОЗ ни по сдерживанию эпидемий гриппа [2], ни в рекомендациях по сдерживанию COVID-19 [4]. Более того, существуют свидетельства в пользу того, что вред для здоровья от ношения населением перчаток существенно перевешивает пользу [13].

Открытые данные для анализа действий по сдерживанию COVID-19

Действия правительств стран мира по сдерживанию COVID-19 были чрезвычайно масштабными. С самого начала пандемии исследователи по всему миру начали создавать коллекции данных для отслеживания этих мер, понимая, что они станут основой для определения эффективных стратегий борьбы с пандемией. Приведем несколько примеров таких коллекций.

WHO Public health and social measures (WHO PHSM)

Набор данных, созданный с помощью агрегации сведений из нескольких авторитетных источников и приведения их в единой схеме классификации [14]. Категории мер:

- биологические меры;
- меры, основанные на применении лекарств;
- меры по контролю состояния окружающей среды;
- индивидуальные меры;
- меры, связанные с международными путешествиями;
- другие меры;
- социальное и физическое дистанцирование.

Первые две категории связаны с тестированием различных лекарств, вакцин и т. д. (эти категории, как правило, редко отражены в иных наборах данных о мерах по предотвращению COVID-19). Категория «Другие меры» включает все экономические меры, предпринимаемые правительствами, например, переход на удаленную работу и др.

Пример: 22 марта власти Германии запретили собрания более двух человек (два человека могут встречаться, если они держатся на расстоянии 1,5 м). Эта мера отражена в категории «Социальное и физическое дистанцирование», подкатегории «Собрание, предпринимательство и сервис», события типа «Отмена, закрытие, ограничение и изменение проведения публичных собраний вне дома».

Отметим, что в этом наборе данных не указана дата окончания действия меры, хотя такой столбец имеется, он пока (на дату написания данного обзора) не заполнен.

COVID19 Government Measures Dataset

Набор данных собирается в рамках неправительственного международного проекта ACAPS [15]. Категории мер:

- социальное дистанцирование;
- ограничение перемещений;
- меры общественного здравоохранения;
- социальные и экономические меры;
- локдауны.

Мера в Германии, описанная выше в качестве примера, выглядит здесь так: категория «Социальное дистанцирование», мера «Ограничение публичных собраний», описание меры «Перемещение в общественных местах ограничено численностью в два человека или группой людей, живущих вместе».

The Oxford COVID-19 Government Response Tracker (OxCGRT)

Пожалуй, наиболее часто используемый источник, поскольку здесь не только собрана информация о мерах по сдерживанию, но и разработано несколько индексов, что позволяет проводить количественный анализ и значительно облегчает межстрановые сопоставления [16].

В рамках OxCGRT собрана информация по 17 показателям мер правительства по сдерживанию эпидемии. Восемь из них — это меры по политике сдерживания распространения вируса (например, закрытие школ и ограничение в передвижении). Пять показателей отражают политику в области общественного здравоохранения (например, мероприятия по тестированию или инвестиции в здравоохранение). Четыре показателя отражают экономическую политику (например, меры по поддержке доходов граждан).

На основании этих показателей построены четыре индекса, представляющие собой число от 0 до 100 [17]: 1) общий индекс реагирования правительства, в котором суммируют его действия по всем действиям (как реакция правительств варьировала по всем показателям в базе данных, становясь сильнее или слабее в течение вспышки); 2) индекс жесткости политики, отражающий строгость действий, которые в первую очередь ограничивают людей (локдаунов, ограничений передвижения, публичных собраний и социальных контактов); 3) индекс сдерживания и здоровья, сочетающий в себе жесткость политики и меры здравоохранения, такие как политика тестирования и отслеживание контактов, инвестиции в разработку вакцины и др.; 4) индекс экономической поддержки населения.

Построение индексов, удобных для количественного анализа, неизбежно ведет к потере части информации, некоторому ее «огрублению». Так, для переменной «Ограничение собраний» используют следующую шкалу:

- 0 — нет ограничений;
- 1 — ограничение на большие собрания (более 1000 человек);
- 2 — ограничение на собрания от 101 до 1000 человек;
- 3 — ограничение на собрания от 11 до 100 человек;
- 4 — ограничение на собрания от 10 человек.

Таким образом, запреты собираться вместе, например, 2, 5 и 10 людям кодируются одинаково.

Еще более грубой представляется шкала мер по закрытию учебных заведений:

- 0 — нет мер;
- 1 — рекомендовано закрытие;
- 2 — обязательное закрытие отдельных типов учебных учреждений;
- 3 — обязательное закрытие всех учреждений.

В одних странах довольно длительное время были закрыты все учебные заведения, в других — университеты и школы закрывались в разное время, есть примеры, когда закрывались только определенные образовательные ступени, например — младшие классы, или же школы были закрыты для всех, кроме детей сотрудников предприятий непрерывного цикла и предприятий, действенность которых была отнесена к жизненно важным. Для получения количественного показателя пришлось пожертвовать нюансами жесткости той или иной меры. Таким образом, индексы обеспечивают простые и эффективные межстрановые сравнения государственных мер по сдерживанию эпидемии. Анализ по каждой конкретной стране необходимо проводить на основе дезагрегированных показателей проводимых ею политик.

Как и когда страны запускали меры?

В начале эпидемии правительства были вынуждены полагаться на рекомендации в отношении вирусов, которые вызывали эпидемии и пандемии в прошлом и действовать в ситуации неопределенности, так как о новом вирусе и вызываемом им заболевании ничего не было известно. Действительно, стадия тяжести эпидемии зависит от контагиозности вируса (см. примечание к табл. 1), а этот параметр для нового вируса неизвестен. Определить число носителей вируса невозможно, число заболевших — сложно. Основные каналы передачи можно только предполагать, отсутствует информация о ранних симптомах и развитии болезни, нет тестов, неясен инкубационный период. Действия по поводу недопущения скопления людей: отменять только большие мероприятия более 1000 участников? более 500? более 50? «больше трех не собираться»? Даже широкая публика за время текущей эпидемии выучила термины «эффективное репродуктивное число», поняла отличие показателя «летальность» от показателя «смертность» и стала понимать, что решения о противоэпидемиологических мерах критически зависят от наличия информации, которой в начале эпидемии не было.

На рис. 1А–3 представлена динамика общего индекса реагирования правительства OxCGRT и числа смертей от COVID-19 в восьми странах мира. В самом начале эпидемии на примере Китая очень скоро стало понятно, что вирус стремительно распространяется, а влияние текущей эпидемии на системы здравоохранения будет огромным. Лечение больных, заболевание которых протекало тяжело, было очень трудным, долгим и требовало огромных физических и человеческих ресурсов. Расчеты показывали, что этих ресурсов при существующей динамике заболеваемости и смертности будет не хватать для лечения всех больных, а быстро нарастить их было сложно. В ответ на это страны резко переходили к все более масштабным мерам по сдерживанию эпидемии. Испания и Италия в конце апреля — начале мая довольно резко ввели строгие меры по борьбе с эпидемией. Введение мер (красная линия на рисунке) следовало за взрывным ростом числа подтвержденных случаев

COVID-19 (на рисунке не показано) и числа смертей (темно-синяя линия). Введение строгих мер в Великобритании немного затягивалось (правительство Бориса Джонсона было подвергнуто за это жесткой критике), а в Германии — строго следовало за числом подтвержденных случаев и чуть опережало кривую смертей. В России строгие меры были введены несколько «превентивно» — видимо, следуя примеру западных стран. В скандинавских странах (на рисунке представлены Финляндия и Швеция) введенные

меры были не так строги: в Финляндии — несколько строже и вводились несколько «круче», чем в Швеции, но были много мягче — индекс строгости мер более чем на двадцать пунктов ниже, чем в Испании, Италии и России.

Жесткие меры, в частности, карантин имеют «потенциал усталости», т. е. согласие с карантином и готовность его соблюдать со стороны отдельного индивида и общества в целом со временем ослабевают [18]. Группа медицинских психологов в обзоре работ о влиянии

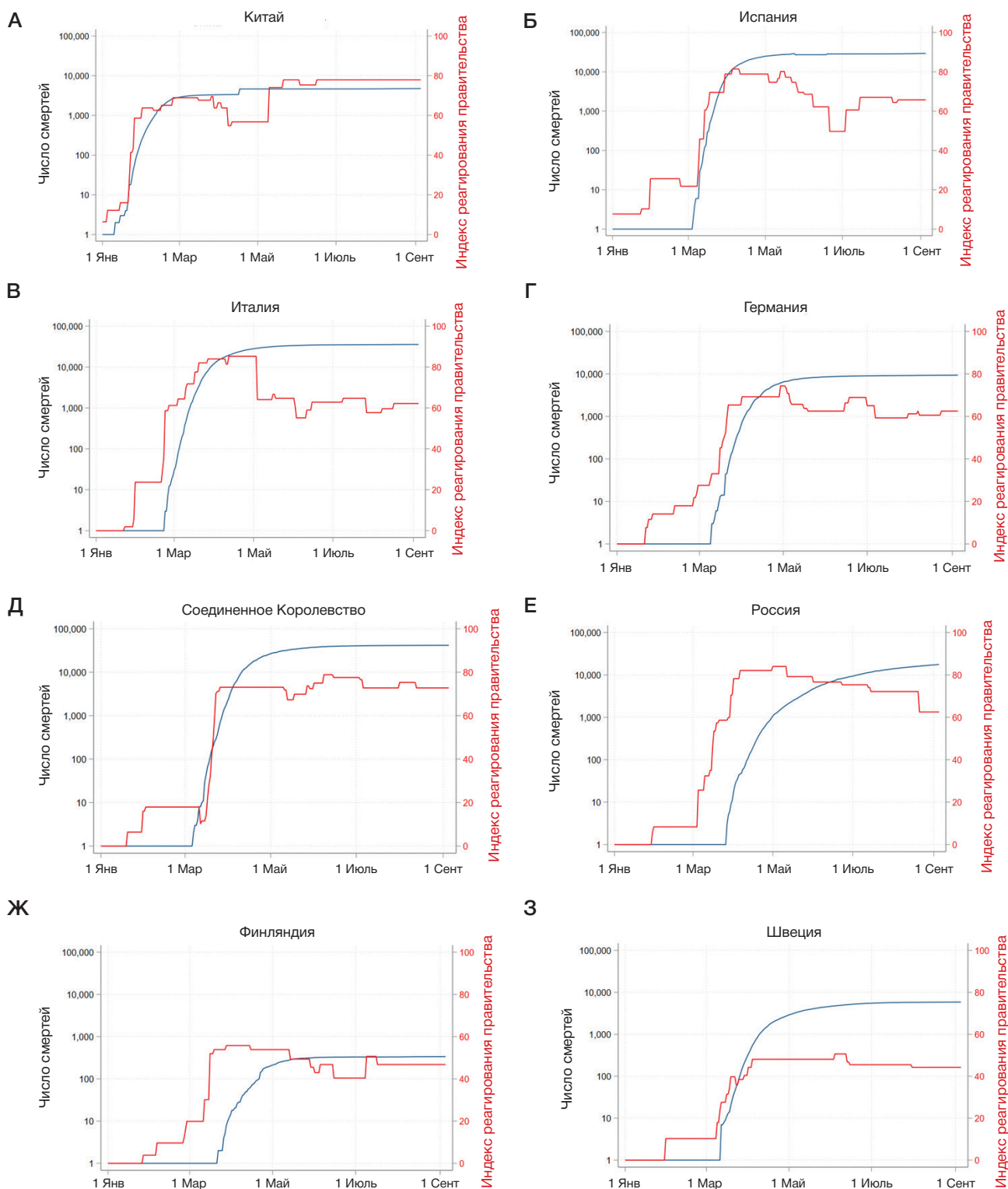


Рис. 1. Динамика общего индекса реагирования правительства OxCGRIT и числа подтвержденных смертей в восьми странах мира. По левой оси отложено число смертей («reported number of deaths»), по правой — индекс реагирования правительства («government response») практически повторяет форму числа подтвержденных случаев [16]

карантина приводит многочисленные свидетельства негативных психологических эффектов карантина [19]. Так, изоляция и карантин приводят к посттравматическому стрессу, депрессии и общественному гневу, которые длятся и после снятия ограничений (влияние карантина на психологическое благополучие человека может длиться до трех лет после его окончания), также существуют свидетельства в пользу того, что добровольный карантин переносить легче обязательного [19].

Примером страны, которая, возможно, приняла эту информацию к сведению, может выступать Швеция. В начале пандемии Швецию подвергли массовой критике за «слабые» решения в отношении политики по сдерживанию эпидемии. Однако возможно, что Швеция выиграла стратегически, не допустив сильного экономического спада и усталости населения от жестких мер. В результате сотрудничество населения Швеции по сдерживанию эпидемии во время предполагаемых второй и последующих волн может быть куда выше, чем во всех остальных европейских странах. Есть также мнение, что правительство Великобритании оттягивало принятие жестких мер, прислушиваясь именно к этому совету и пытаясь найти именно тот момент введения карантина, когда его выгоды будут превышать издержки, а усталость населения не станет фактором, сдерживающим эффективность противоэпидемиологических мер.

Когда начали снимать меры и почему?

Меры стали ослаблять (или держать на месте, как Китай, Великобритания и Финляндия), когда число смертей вышло на плато (см. рис. 1). Исключением является Россия, где меры ослабляют на фоне роста смертей. Снятие противоэпидемиологических мер, как и их введение, происходит поэтапно и зависит в первую очередь от числа подтвержденных новых случаев заражений и смертности, и новых данных о способах передачи вируса. То, какие именно меры будут сняты в первую очередь, во многом зависит от региональной эпидемиологической обстановки: ответственные за ее улучшение службы и главы регионов рассчитывают число заболевших и соотносят его с имеющимися мощностями системы здравоохранения таким образом, чтобы не допустить очередной перегрузки медицинских учреждений. Всемирная организация здравоохранения предлагает учитывать как минимум шесть критериев, с учетом которых могут быть приняты решения о послаблениях режима [20].

1. Данные о том, что передача COVID-19 находится под контролем.

2. Подтверждение того, что мощности системы здравоохранения и эпидемиологических служб достаточны для своевременного выявления, изоляции, тестирования, отслеживания контактов и их карантина.

3. Минимизация рисков возникновения вспышки для условий, имеющих дело с особенно уязвимыми социальными группами: домов престарелых, психиатрических учреждений и мест массового скопления людей.

4. Установление на рабочих местах мер профилактики, включающих социальное дистанцирование, необходимые условия для гигиены рук и соблюдения респираторного этикета.

5. Управление рисками вирусного «импорта».

6. Осведомленность общественности и возможность ее участия в переходе к новому режиму.

Непосредственно на очередность ослабления мер

будет влиять и локальная культура: комплаентность населения к вводимым рекомендациям и ограничениям, значимость тех или иных видов социальных контактов или видов деятельности в данном контексте. Поэтому во многих странах есть не только общие для государства рамочные положения о профилактике инфекции, но и различия по регионам относительно того, какие места будут открыты для посещения первыми и в каком режиме будут работать, будет ли соблюдаться карантин по прибытию в регион, по сколько человек и с соблюдением каких условий могут проходить встречи и собрания и т. д. Многие страны также разрабатывают долгосрочные модели образа жизни и работы — те правила, которые будут работать как «новая норма», до тех пор пока вирус остается угрозой.

На данный момент общие рекомендации относительно соблюдения дистанции, гигиены рук, респираторного этикета и ношения маски в определенных обстоятельствах остались действующими для большинства стран, столкнувшихся с COVID-19, но при этом смягчение и ужесточение режима могут измениться в любой момент, и принимаемые политики по сдерживанию распространения обновляются практически еженедельно. Так, в Великобритании только с середины августа стало разрешено проводить свадьбы (с не более чем 30 гостями), открылись салоны красоты и ряд других заведений, а в разных регионах по-прежнему введены ограничения на встречи более чем 10 человек внутри помещений. В России, столкнувшейся с вирусом чуть позже, чем многие европейские страны, такие послабления были введены еще в июне-июле (опять же надо учитывать региональные отличия), и оставшиеся меры касаются в основном ношения масок в общественных местах и повышенных требований к дезинфекции помещений. Вместе с тем, например, в Финляндии — одной из первых стран, открывших школы и не введших «масочный режим» весной 2020 г., в середине августа была принята рекомендация о ношении масок в общественном транспорте, что можно рассматривать как введение новых мер профилактики коронавирусной инфекции.

Как оценивали эффективность мер и их влияние на экономику?

Принятие решений о введении тех или иных мер по сдерживанию эпидемии и оценка эффективности этих вмешательств на разных этапах пандемии требуют конкретных, надежных и своевременных данных не только об особенностях инфекции, но и о мобильности людей, их поведении и выполнении ими рекомендаций по социальному дистанцированию. Понимание динамики мобильности населения и его реакции на вводимые меры, во-первых, может помочь в прогнозировании географического распространения заражения, а значит — помочь оценить будущие риски, потребности и возможности, и во-вторых, выявить причинно-следственные механизмы и оценить влияние отдельных мер на распространение инфекции, что позволяет более эффективно их вводить [21]. Подобные данные могут быть получены различными путями.

Традиционным инструментом в этом случае являются опросы. Они помогают отследить интенсивность социальных контактов, влияние мер на финансовую ситуацию и положение с работой, степень поддержки вводимых мер. Так, в Великобритании опрос репрезентативной выборки взрослых жителей был начат через день после введения локдауна по всей территории

страны [22]. Респондентов просили указать все контакты, которые у них произошли в течение суток, предшествующих опросу, а также сообщить об имеющихся у них до введения локдауна планах участия в предшествующую опросу неделю в ряде предполагающих контакты с другими людьми мероприятиях, которые пришлось отменить из-за локдауна. Спрашивали респондентов и о том, соблюдали ли они меры физического дистанцирования в неделю, предшествующую опросу. Респонденты сообщали, было ли им или кому-либо из их домохозяйства рекомендовано соблюдать карантин или ограничивать время на своем рабочем месте или месте учебы, и сократили ли они и каким образом физические контакты добровольно. Таким образом, исследователи сравнили количественно выраженные модели социальных контактов во время локдауна и до него. Затем они оценили изменение репродуктивного числа R_0 вследствие введенных мер физического дистанцирования. В результате было обнаружено снижение среднего числа контактов одного участника на 74% (с 10,8 до 2,8). Этого было бы достаточно, чтобы уменьшить R_0 с 2,6 до локдауна до 0,62 (95%-й доверительный интервал составил 0,37–0,89) после локдауна, основываясь на данных для всех типов контакта, и до 0,37 (95%-й доверительный интервал составил 0,22–0,53), основываясь на данных для физических (кожа к коже) контактов.

Данные мобильных телефонов и других цифровых устройств имеют особое значение для анализа эпидемий, так как помогают с высокой точностью понять динамику мобильности населения практически в реальном времени, а значит, крайне полезны и для прогнозов распространения инфекций, и для установления эффективности мер по ее подавлению [23]. В качестве примера рассмотрим опубликованные ранее данные [24]. Целью работы было установить, как меры, вводимые на уровне штатов и муниципалитетов (объявления о чрезвычайных ситуациях, закрытие школ, ограничения в ресторанах, ограничения на публичные собрания, закрытия предприятий и предписания не покидать жилище), фактически повлияли на социальное дистанцирование в начале эпидемии COVID-19 в США. В распоряжении исследователей оказались данные, которые коммерческие компании собирают при помощи имеющих функции для отслеживания геолокации мобильных приложений. Эти данные включали информацию о том, сколько других устройств присутствовало в определенный момент в течение дня в местах, посещенных отслеживаемым устройством, сколько времени было проведено дома, перемещалось ли устройство за пределы дома в течение дня, перемещалось ли оно по штату и за пределами штата. Пользуясь тем, что разные штаты вводили меры различной интенсивности и в разное время, авторы выяснили, что предоставление информации и рекомендации сокращали мобильность практически так же хорошо, как и введение обязательных мер по социальному дистанцированию.

Алгоритмическое мгновенное отслеживание контактов с помощью приложения для мобильного телефона и немедленное уведомление контактов посредством этого приложения могут быть достаточны, чтобы остановить эпидемию, если приложение используется достаточно высокой долей населения [25, 26]. При поддержке Европейской комиссии инициативная группа eHealth Network разработала полностью соответствующий правилам ЕС по конфиденциальности и защите информации набор инструментов для создания и использования приложений отслеживания контактов [27].

Для оценки эффективности мер широко применяют эпидемиологические модели. Примером такой модели может быть исследование [28], где применяли следующую методологию: авторы, используя параметры из литературы, разрабатывают модель SEIR, при помощи которой симулируют меры по предотвращению распространения инфекции различной длительности и интенсивности на протяжении одного года, изменяя эти параметры. Авторы исследования показывают, что меры по ограничению физического дистанцирования необходимо снимать постепенно, для того чтобы избежать пиковых значений заболеваемости и нагрузки на систему здравоохранения.

Эпидемиологические модели могут быть усложнены с помощью учета индивидуального поведенческого выбора в ответ на риск заболевания (так называемые эбио-экономические модели) [29]. Исследования показывают эффективность агрессивной политики и раннего введения жестких мер социального дистанцирования для снижения смертности и сокращения экономических потерь [30–33]. Для анализа эффективности предпринятых мер разрабатывают и новые типы моделей. Так, построена байесовская модель цикла от заражения до наблюдаемых смертей, при помощи которой моделируют гипотетический контрфактивный сценарий числа смертей, которые произошли бы без вмешательства правительств этих стран [34]. Исследователи подчеркивают, что все предпринятые меры позволили снизить репродуктивное число R_t ниже 1 и избежать 3 100 000 смертей в рассматриваемых 11 европейских странах.

В ряде работ подчеркивается, что тестирование с последующей изоляцией зараженных людей снижает необходимый для предотвращения распространения инфекции уровень жесткости мер социального дистанцирования, тем самым позволяя выбирать лучшие условия в компромиссе между снижением экономической активности и здоровьем населения [35–37].

Анализ, проведенный при помощи модели SIR с множественным риском (MR-SIR), в которой уровень инфекции, госпитализации и смертности варьирует между возрастными группами (названными «молодыми», «людьми среднего возраста» и «пожилыми»), показывает, что оптимальные меры, дифференциально нацеленные на группы риск/возраст, значительно превосходят меры, направленные на все население без учета возраста и риска, и больший выигрыш в снижении смертности при одинаковом экономическом ущербе может быть достигнут при наличии более строгой политики блокировки для самой пожилой группы [38].

При снятии мер необходимо учитывать отраслевую специфику и доступность дистанционной работы в разных секторах экономики, при этом возможно достаточно широкое «открытие экономики» (полноценное возобновление ее работы) при сохранении жестких ограничений на социальные контакты вне рабочих контактов (открытие масштабных социальных мероприятий, посещение ресторанов и баров и др.) [39, 40].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на стремительно растущее число исследований, посвященных анализу эффективности противоэпидемиологических мер и их социальных и экономических последствий, по-прежнему недостаточно данных для однозначной оценки их своевременности и необходимости. Можно сказать, что по своему объему и строгости, принимаемые меры по сдерживанию эпидемии

COVID-19 оказались самыми масштабными за всю историю человечества, а ряд из них (отслеживание социальных контактов, запрет на международное перемещение, повсеместное физическое дистанцирование) в той или иной форме были опробованы и введены впервые.

На то, какие меры вводятся или снимаются и в какой последовательности, оказывают влияние социальные, демографические и географические особенности стран. Кроме того, успешность сдерживания эпидемии зависела от уже имеющегося у ряда государств опыта борьбы с инфекционными заболеваниями, от мощности и эффективности систем здравоохранения, а также уровня экономического развития. Важно также отметить, что как эффективность, так и последствия вводимых мер могут значительно варьировать внутри страны для разных социальных групп: во время текущей эпидемии COVID-19 наиболее уязвимыми оказались пожилые люди (в силу особенностей самого заболевания), а также люди с неустойчивой экономической позицией.

Межстрановые различия по последовательности и строгости принимаемых противоэпидемиологических

мер можно анализировать по базам данных, в которых они четко регистрируются по разным параметрам и индексам. Такие индексы упрощают сопоставление данных, относящихся к разным странам, однако имеют свои ограничения, поскольку слишком обобщены для анализа каждого конкретного кейса или региона. Для оценки эффективности противоэпидемиологической политики внутри любой страны следует использовать дезагрегированные показатели. Кроме того, важно учитывать, что эпидемия по-прежнему продолжается, данные постоянно пополняются и базы обновляются, поэтому конкретные эффекты принимаемых мер на экономику, социальные и политические институты стран еще только предстоит изучить.

Несмотря на то что в некоторых странах разработанные стратегии оказались весьма успешными и смогли остановить или существенно замедлить распространение коронавирусной инфекции, общество и экономика всего мира все еще встречаются с новыми вызовами эпидемии и вынуждены разрабатывать новые меры по их преодолению.

Литература

1. WHO. WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19-11, March 2020. World Health Organization. Available from: <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>.
2. WHO. Non-pharmaceutical public health measures for mitigating the risk and impact of epidemic and pandemic influenza: annex: report of systematic literature reviews. World Health Organization. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/329439>.
3. WHO. Calibrating long-term non-pharmaceutical interventions for COVID-19: principles and facilitation tools. Manila: WHO Regional Office for the Western Pacific. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332099>.
4. WHO. Overview of public health and social measures in the context of COVID-19: interim guidance, 18 May 2020. World Health Organization. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331773>.
5. WHO. Tracking Public Health and Social Measures. A global database of public health and social measures applied during the COVID-19 pandemic. Available from: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/phsm> (2020, accessed 26 July 2020).
6. Kilbourne ED. Influenza pandemics of the 20th century. *Emerging infectious diseases*. 2006; 12: 9.
7. Peiris JM, Tu W, Yen H. A novel H1N1 virus causes the first pandemic of the 21st century. *European journal of immunology*. 2009; 39: 2946–54.
8. Mahase E. Coronavirus: covid-19 has killed more people than SARS and MERS combined, despite lower case fatality rate. *BMJ*; 368. Epub ahead of print 18 February 2020. DOI: 10.1136/bmj.m641.
9. WHO. Pandemic influenza severity assessment (PISA): a WHO guide to assess the severity of influenza in seasonal epidemics and pandemics. World Health Organization, 2017.
10. WHO. Infection prevention and control during health care for probable or confirmed cases of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) infection: interim guidance: updated October 2019. World Health Organization, 2019.
11. He X, Lau EH, Wu P, et al. Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. *Nature medicine*. 2020; 26: 672–5.
12. Koo JR, Cook AR, Park M, et al. Interventions to mitigate early spread of SARS-CoV-2 in Singapore: a modelling study. *The Lancet Infectious Diseases*. 2020; 20: 678–88.
13. European Centre for Disease Prevention and Control. Use of gloves in healthcare and non-healthcare settings in the context of the COVID-19 pandemic. Stockholm: ECDC, 2020.
14. WHO Public health and social measures (WHO PHSM). Available from: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/phsm>.
15. COVID-19 Government Measures Dataset. Available from: <https://www.acaps.org/covid-19-government-measures-dataset>.
16. The Oxford COVID-19 Government Response Tracker (OxCGRT). Available from: <https://www.bsg.ox.ac.uk/research/research-projects/coronavirus-government-response-tracker>.
17. Hale T, Petherick A, Phillips T, et al. Variation in government responses to COVID-19. *Blavatnik school of government working paper*; 31.
18. Lunn PD, Belton CA, Lavin C, et al. Using Behavioral Science to help fight the Coronavirus. *Journal of Behavioral Public Administration*; 3.
19. Brooks SK, Webster RK, Smith LE, et al. The psychological impact of quarantine and how to reduce it: rapid review of the evidence. *The Lancet*. 2020; 395: 10227: P912-920. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30460-8.
20. WHO Europe. Considerations in adjusting public health and social measures in the context of COVID-19: interim guidance, 12 May 2020. World Health Organization, 2020.
21. Oliver N, Lepri B, Sterly H, et al. Mobile phone data for informing public health actions across the COVID-19 pandemic life cycle. *Science Advances*. 2020; 6: eabc0764.
22. Jarvis CI, Van Zandvoort K, Gimma A, et al. Quantifying the impact of physical distance measures on the transmission of COVID-19 in the UK. *BMC medicine*. 2020; 18: 1–10.
23. Ienca M, Vayena E. On the responsible use of digital data to tackle the COVID-19 pandemic. *Nature medicine*. 2020; 26: 463–4.
24. Gupta S, Nguyen TD, Rojas FL, et al. Tracking Public and Private Responses to the COVID-19 Epidemic: Evidence from State and Local Government Actions. Working Paper 27027, National Bureau of Economic Research. Epub ahead of print April 2020. DOI: 10.3386/w27027.
25. Ferretti L, Wymant C, Kendall M, et al. Quantifying SARS-CoV-2 transmission suggests epidemic control with digital contact tracing. *Science*. 2020; 368: eabb6936. DOI: 10.1126/science.abb6936.
26. Raskar R, Schunemann I, Barbar R, et al. Apps gone rogue:

- Maintaining personal privacy in an epidemic. arXiv preprint arXiv:200308567.
27. eHealth Network. Mobile applications to support contact tracing in the EU's fight against COVID-19: Common EU Toolbox for Member States. Available from: https://ec.europa.eu/health/sites/health/files/ehealth/docs/covid-19_apps_en.pdf.
 28. Prem K, Liu Y, Russell TW, et al. The effect of control strategies to reduce social mixing on outcomes of the COVID-19 epidemic in Wuhan, China: a modelling study. *The Lancet Public Health*. 2020; 5: e261–e270.
 29. Fenichel EP, Castillo-Chavez C, Ceddia MG, et al. Adaptive human behavior in epidemiological models. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2011; 108: 6306–11.
 30. Alvarez FE, Argente D, Lippi F. A simple planning problem for covid-19 lockdown. *National Bureau of Economic Research*, 2020.
 31. Demircug-Kunt A, Lokshin M, Torre I. The sooner, the better: The early economic impact of non-pharmaceutical interventions during the COVID-19 pandemic. *World Bank Policy Research Working Paper*.
 32. Farboodi M, Jarosch G, Shimer R. Internal and external effects of social distancing in a pandemic. *National Bureau of Economic Research*, 2020.
 33. Jones CJ, Philippon T, Venkateswaran V. Optimal Mitigation Policies in a Pandemic: Social Distancing and Working from Home. Working Paper 26984, National Bureau of Economic Research. Epub ahead of print April 2020. DOI: 10.3386/w26984.
 34. Flaxman S, Mishra S, Gandy A, et al. Estimating the effects of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in Europe. *Nature*. 2020; 1–5.
 35. Berger DW, Herkenhoff KF, Mongey S. An SEIR infectious disease model with testing and conditional quarantine. *National Bureau of Economic Research*, 2020.
 36. Brotherhood L, Kircher P, Santos C, et al. An Economic Model of the Covid-19 Epidemic: The Importance of Testing and Age-Specific Policies. SSRN Scholarly Paper ID 3618840, Rochester, NY: Social Science Research Network, 2020. Available from: <https://papers.ssrn.com/abstract=3618840>.
 37. Eichenbaum MS, Rebelo S, Trabandt M. The Macroeconomics of Testing and Quarantining. *National Bureau of Economic Research*, 2020.
 38. Acemoglu D, Chernozhukov V, Werning I, et al. A multi-risk SIR model with optimally targeted lockdown. *National Bureau of Economic Research*, 2020.
 39. Baqaee D, Farhi E, Mina MJ, et al. Reopening Scenarios. Working Paper 27244, National Bureau of Economic Research. Epub ahead of print May 2020. DOI: 10.3386/w27244.
 40. Glover A, Heathcote J, Krueger D, et al. Health versus wealth: On the distributional effects of controlling a pandemic. *National Bureau of Economic Research*, 2020.

References

1. WHO. WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19-11, March 2020. World Health Organization. Available from: <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>.
2. WHO. Non-pharmaceutical public health measures for mitigating the risk and impact of epidemic and pandemic influenza: annex: report of systematic literature reviews. World Health Organization. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/329439>.
3. WHO. Calibrating long-term non-pharmaceutical interventions for COVID-19: principles and facilitation tools. Manila: WHO Regional Office for the Western Pacific. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332099>.
4. WHO. Overview of public health and social measures in the context of COVID-19: interim guidance, 18 May 2020. World Health Organization. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331773>.
5. WHO. Tracking Public Health and Social Measures. A global database of public health and social measures applied during the COVID-19 pandemic. Available from: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/phsm> (2020, accessed 26 July 2020).
6. Kilbourne ED. Influenza pandemics of the 20th century. *Emerging infectious diseases* 2006; 12: 9.
7. Peiris JM, Tu W, Yen H. A novel H1N1 virus causes the first pandemic of the 21st century. *European journal of immunology*. 2009; 39: 2946–54.
8. Mahase E. Coronavirus: covid-19 has killed more people than SARS and MERS combined, despite lower case fatality rate. *BMJ*; 368. Epub ahead of print 18 February 2020. DOI: 10.1136/bmj.m641.
9. WHO. Pandemic influenza severity assessment (PISA): a WHO guide to assess the severity of influenza in seasonal epidemics and pandemics. World Health Organization, 2017.
10. WHO. Infection prevention and control during health care for probable or confirmed cases of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) infection: interim guidance: updated October 2019. World Health Organization, 2019.
11. He X, Lau EH, Wu P, et al. Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. *Nature medicine*. 2020; 26: 672–5.
12. Koo JR, Cook AR, Park M, et al. Interventions to mitigate early spread of SARS-CoV-2 in Singapore: a modelling study. *The Lancet Infectious Diseases*. 2020; 20: 678–88.
13. European Centre for Disease Prevention and Control. Use of gloves in healthcare and non-healthcare settings in the context of the COVID-19 pandemic. Stockholm: ECDC, 2020.
14. WHO Public health and social measures (WHO PHSM). Available from: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/phsm>.
15. COVID-19 Government Measures Dataset. Available from: <https://www.acaps.org/covid-19-government-measures-dataset>.
16. The Oxford COVID-19 Government Response Tracker (OxCGRT). Available from: <https://www.bsg.ox.ac.uk/research/research-projects/coronavirus-government-response-tracker>.
17. Hale T, Petherick A, Phillips T, et al. Variation in government responses to COVID-19. *Blavatnik school of government working paper*; 31.
18. Lunn PD, Belton CA, Lavin C, et al. Using Behavioral Science to help fight the Coronavirus. *Journal of Behavioral Public Administration*; 3.
19. Brooks SK, Webster RK, Smith LE, et al. The psychological impact of quarantine and how to reduce it: rapid review of the evidence. *The Lancet*. 2020; 395: 10227: P912–920. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30460-8.
20. WHO Europe. Considerations in adjusting public health and social measures in the context of COVID-19: interim guidance, 12 May 2020. World Health Organization, 2020.
21. Oliver N, Lepri B, Sterly H, et al. Mobile phone data for informing public health actions across the COVID-19 pandemic life cycle. *Science Advances*. 2020; 6: eabc0764.
22. Jarvis CI, Van Zandvoort K, Gimma A, et al. Quantifying the impact of physical distance measures on the transmission of COVID-19 in the UK. *BMC medicine*. 2020; 18: 1–10.
23. Ienca M, Vayena E. On the responsible use of digital data to tackle the COVID-19 pandemic. *Nature medicine*. 2020; 26: 463–4.
24. Gupta S, Nguyen TD, Rojas FL, et al. Tracking Public and Private Responses to the COVID-19 Epidemic: Evidence from State and Local Government Actions. Working Paper 27027, National Bureau of Economic Research. Epub ahead of print April 2020. DOI: 10.3386/w27027.
25. Ferretti L, Wymant C, Kendall M, et al. Quantifying SARS-CoV-2 transmission suggests epidemic control with digital contact tracing. *Science*. 2020; 368: eabb6936. DOI: 10.1126/science.abb6936.
26. Raskar R, Schunemann I, Barbar R, et al. Apps gone rogue:

- Maintaining personal privacy in an epidemic. arXiv preprint arXiv:200308567.
27. eHealth Network. Mobile applications to support contact tracing in the EU's fight against COVID-19: Common EU Toolbox for Member States. Available from: https://ec.europa.eu/health/sites/health/files/ehealth/docs/covid-19_apps_en.pdf.
 28. Prem K, Liu Y, Russell TW, et al. The effect of control strategies to reduce social mixing on outcomes of the COVID-19 epidemic in Wuhan, China: a modelling study. *The Lancet Public Health*. 2020; 5: e261–e270.
 29. Fenichel EP, Castillo-Chavez C, Ceddia MG, et al. Adaptive human behavior in epidemiological models. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2011; 108: 6306–11.
 30. Alvarez FE, Argente D, Lippi F. A simple planning problem for covid-19 lockdown. National Bureau of Economic Research, 2020.
 31. Demirguc-Kunt A, Lokshin M, Torre I. The sooner, the better: The early economic impact of non-pharmaceutical interventions during the COVID-19 pandemic. World Bank Policy Research Working Paper.
 32. Farboodi M, Jarosch G, Shimer R. Internal and external effects of social distancing in a pandemic. National Bureau of Economic Research, 2020.
 33. Jones CJ, Philippon T, Venkateswaran V. Optimal Mitigation Policies in a Pandemic: Social Distancing and Working from Home. Working Paper 26984, National Bureau of Economic Research. Epub ahead of print April 2020. DOI: 10.3386/w26984.
 34. Flaxman S, Mishra S, Gandy A, et al. Estimating the effects of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in Europe. *Nature*. 2020; 1–5.
 35. Berger DW, Herkenhoff KF, Mongey S. An SEIR infectious disease model with testing and conditional quarantine. National Bureau of Economic Research, 2020.
 36. Brotherhood L, Kircher P, Santos C, et al. An Economic Model of the Covid-19 Epidemic: The Importance of Testing and Age-Specific Policies. SSRN Scholarly Paper ID 3618840, Rochester, NY: Social Science Research Network, 2020. Available from: <https://papers.ssrn.com/abstract=3618840>.
 37. Eichenbaum MS, Rebelo S, Trabandt M. The Macroeconomics of Testing and Quarantining. National Bureau of Economic Research, 2020.
 38. Acemoglu D, Chernozhukov V, Werning I, et al. A multi-risk SIR model with optimally targeted lockdown. National Bureau of Economic Research, 2020.
 39. Baqaee D, Farhi E, Mina MJ, et al. Reopening Scenarios. Working Paper 27244, National Bureau of Economic Research. Epub ahead of print May 2020. DOI: 10.3386/w27244.
 40. Glover A, Heathcote J, Krueger D, et al. Health versus wealth: On the distributional effects of controlling a pandemic. National Bureau of Economic Research, 2020.