

БОРЬБА С ПАНДЕМИЕЙ КОВИД-19

Выбор оптимальной стратегии позволяет резко снизить количество смертей без увеличения длительности карантина

FIGHTING COVID-19 PANDEMIC

The choice of the optimal strategy allows you to dramatically reduce the number of deaths without increasing the duration of quarantine

Левицкий Гершон, M.S. Иерусалим, Израиль.

E-mail: gershonlev@bezeqint.net, tel.: +(972)52-8046-403

Файнберг Владимир, Ph.D. Иерусалим, Израиль.

E-mail: faynbergv@yahoo.com, tel.: +(972)72543027456

Цыбулевский Михаил, D.Sc. Технион, Израиль.

E-mail: mzibul@gmail.com, mzib@cs.technion.ac.il tel.: +(972)54-784-7738

Levitsky Gershon, M.S. Jerusalem, Israel

E-mail: gershonlev@bezeqint.net, tel.: +(972)52-8046-403

Faynberg Vladimir, Ph.D. Jerusalem, Israel

E-mail: faynbergv@yahoo.com, tel.: +(972)54-3027-456

Zibulevsky Michael, D.Sc. Technion - Haifa, Israel

E-mail: mzibul@gmail.com, mzib@cs.technion.ac.il tel.: +(972)54-784-7738

Аннотация. Выбор оптимальной стратегии борьбы с Ковид-19 крайне актуален и может спасти тысячи жизней [1, 2]. Используя удобство логарифмических графиков для анализа различных стратегий борьбы с пандемией, было показано преимущество стратегии, ориентированной на поддержание низкого уровня заражения с точки зрения минимизации общего числа жертв пандемии. При этом не требуется увеличения числа карантинных дней, а при определенных условиях даже появляется возможность вообще избежать введения карантина.

Ключевые слова: Пандемия, эпидемия, ковид, стратегия, карантин, полулогарифмический.

Abstract. The choice of the optimal strategy to combat Covid-19 is extremely relevant and can save thousands of lives [1, 2]. Using the convenience of logarithmic plots to analyze various pandemic control strategies, the advantage of a strategy focused on maintaining a low infection rate was shown in terms of minimizing the total number of victims of a pandemic. This does not require an increase in the number of quarantine days, and under certain conditions it even becomes possible to avoid the introduction of quarantine altogether.

Key words: Pandemic, epidemic, covid, strategy, quarantine, semi-logarithmic.

1. Наглядные графики

Во всех эпидемиях количество новых заболеваний в день (ЗД) изменяется в разы за определенный промежуток времени. В науке такое поведение называется экспоненциальным. Отображение таких зависимостей на обычных графиках с линейными шкалами характеризуется

очень резкими ростом и спадом, и поэтому они сложны для понимания, ненаглядны и контринтуитивны как показано на рис.1, справа.

Есть другой вид графиков, так называемых «полулогарифмических», на которых каждое следующее деление на вертикальной шкале представляет собой увеличение в 10 раз, как показано на рис.1, слева. Такой график обеспечивает «линеаризацию» наблюдаемого процесса, так что и рост числа заболевших в день во время открытия, и спад во время закрытия (карантина) выглядят как прямые линии.

Прямолинейные участки на левом (полулогарифмическом) графике не являются случайностью, а отражают экспоненциальный закон развития эпидемии, многократно доказанный экспериментально и теоретически.

Такие графики очень наглядны. Они включают нашу интуицию и позволяют легко понять происходящий процесс. Наклон прямой на таком графике соответствует процессу развития эпидемии, который определяется как относительное изменение уровня ЗД в текущий день по отношению к предыдущему дню. Наклон однозначно (хотя и нелинейно) связан с коэффициентом заражения.

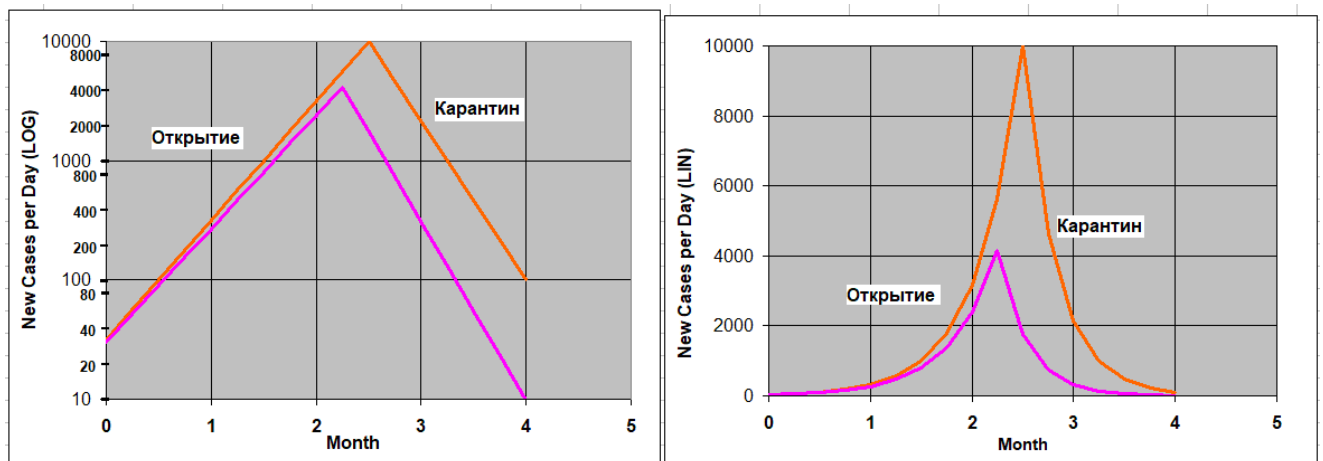


Рис.1. Обычный (справа) и полулогарифмический (слева) графики развития пандемии.

Сравним для примера две предполагаемые кривые, оранжевую и фиолетовую. Обе кривые начинаются с уровня 30 ЗД, но фиолетовая кривая имеет особенности по сравнению с оранжевой. Из левого графика видно, что обе кривые начинаются с одинакового уровня (30 ЗД), но в конце четвертого месяца различаются в 10 раз, а именно, уровень ЗД увеличился в 3.2 раза по сравнению с начальной точкой (30 ЗД) для оранжевой кривой, и уменьшился в 3.2 раза – для фиолетовой.

Такое существенное различие уровней ЗД между фиолетовой и оранжевой кривыми было достигнуто за счет сравнительно небольших изменений режимов открытия и карантина, которые, как и конечный результат, очевидны из левого (полулогарифмического) графика, а именно:

- наклон фиолетовой возрастающей прямой немножко меньше (более точно - это замедление роста ЗД на 5% во время открытия). Такая разница может быть достигнута с помощью более систематического введения масок и дистанции между людьми;
- на 7 дней раньше начат карантин и его продолжительность также на 7 дней дольше;
- наклон спадающей фиолетовой прямой немного больше (более точно - это 10% ускорение спада ЗД во время открытия). Причиной такого отличия может быть более последовательное проведение карантина.

Необходимо отметить самое важное: полулогарифмический график дает ясное понимание характера процесса заражения и влияния карантина и других факторов, что совсем не очевидно на линейных графиках.

- По прямой (с усредненными выбросами и всплесками) на полулогарифмическом графике можно определить, что развитие эпидемии соответствует стабильному экспоненциальному процессу;
- Любое локальное искажение линейности означает определенное временное изменение процесса;
- Переход от одного премолинейного участка к другому (если такое происходит) с иным наклоном, означает изменение условий заражения или режима карантина;
- По полулогарифмическому графику легко сделать краткосрочный прогноз развития эпидемии – просто продолжив прямую. Например, если на рис.1 продолжить открытие на фиолетовой прямой на 9 дней (примерно от 2.3 до 2.6 месяца), то уровень ЗД перед началом карантина подскочит от 4000 до 10000;
- С помощью определения наклона («НАКЛОН») прямой непосредственно на полулогарифмическом графике (рис.1, слева, для примера - на оранжевой кривой) можно рассчитать такой важный параметр эпидемии, как коэффициент заражения (Q), который равен:

$$Q = 10^{\text{НАКЛОН}}$$

Расчет наклона по данным оранжевого графика на участке подъема:

$$\text{НАКЛОН} = (\text{LOG}(10000) - \text{LOG}(30)) / (75 - 1) = 0.034,$$

отсюда:

$$Q = 10^{0.034} = 1.082$$

Более подробное описание вывода этой формулы приведено в приложении.

Итак, мы видим следующее:

- Представление данных по эпидемии в полулогарифмическом масштабе очень удобно и наглядно. Это и вполне реально, т.к. статистика подобных процессов часто представляется также и в таком виде. Дополнительным преимуществом таких графиков является простота составления по ним прогноза развития пандемии.
- Лишняя неделя/две 1-ого карантина и более последовательное его проведение позволяют в дальнейшем проводить последующие карантин (если понадобится) на более низком уровне и в более узком диапазоне.

2. Сравнение стратегий противостояния КОВИДУ

2.1 Стратегии, не использующие индивидуальную изоляцию потенциально зараженных.

Сравним две теоретически возможные стратегии контроля КОВИДА, не использующие индивидуальную изоляцию потенциально зараженных (см. рис.2).

Суть обеих стратегий в введении карантина при определенном количестве зараженных в день (Красная Кнопка) и прекращении при другом, более низком уровне (Зеленая Кнопка).

Разница между сравниваемыми стратегиями – в самих уровнях заражения:

- для черной кривой карантин вводится при 10000 зараженных в день (ЗД) и прекращается при 1000 ЗД.
- для зеленой кривой эти уровни в 10 раз ниже - карантин вводится при 1000 ЗД и прекращается при 100 ЗД.

При этом предположим, что для обеих стратегий во время открытия уровень заражения увеличивается в 10 раз за 2 месяца, а во время карантина заражения снижается в 10 раз за 1 месяц.

Из кривых на рис.2 очевидно, что длительность карантина одинакова для обеих стратегий, а важнейшие показатели во много раз лучше для зеленой кривой. И это, прежде всего, очевидно для количества зараженных в день. Дополнительный подсчет по известным формулам показывает, что стратегия в соответствии с зеленой кривой также снижает общее количество переболевших примерно в 10 раз только на стадии «открытия».

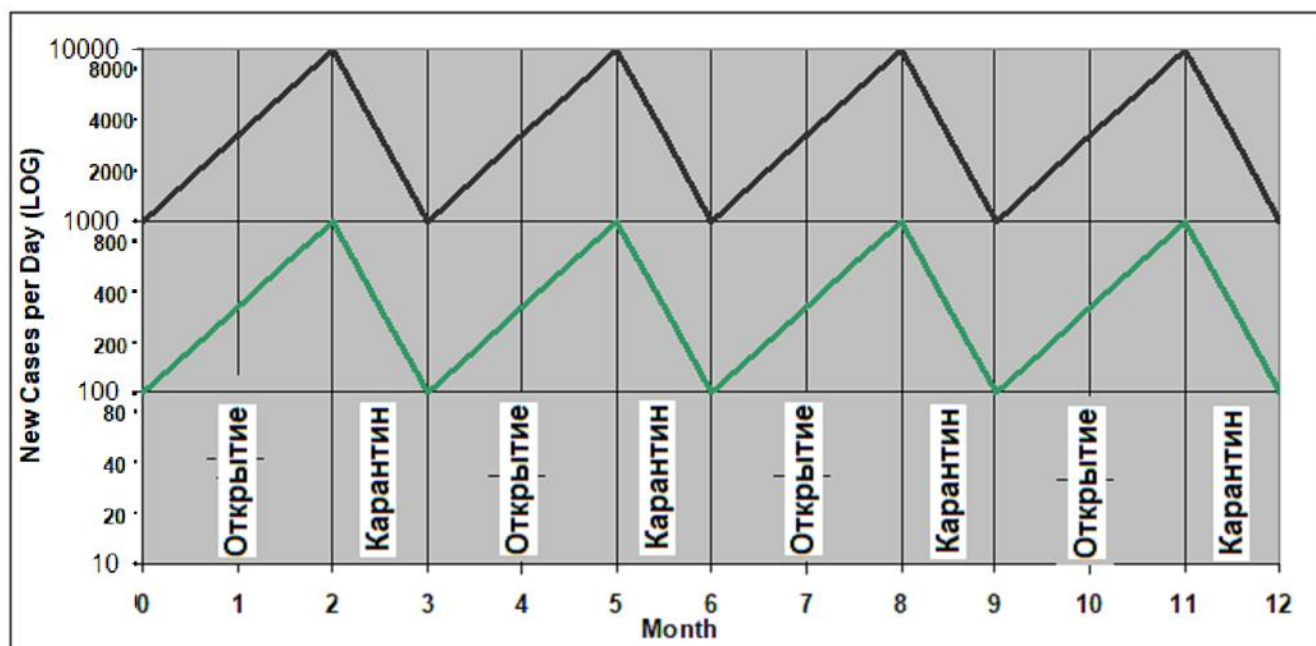


Рис.2. Сравнение двух стратегий, не использующих индивидуальную изоляцию.

2.2 Стратегии, использующие индивидуальную изоляцию потенциально зараженных

На рис.3 показаны еще две стратегии контроля, которые используют индивидуальную изоляцию (ИИ) потенциально зараженных. Индивидуальная изоляция, в отличие от общего закрытия/карантина, подвергает изоляции только очень незначительную часть населения (меньше 1%), - а именно только потенциально зараженных, выявленных хайтек методами. Поэтому индивидуальная изоляция намного дешевле и хорошо работает при малых уровнях зараженности. Когда зараженность достигает какого-то предела (предел ИИ), индивидуальная изоляция перестает работать, и наклон кривой на графике из пологого превращается в обычный крутой.

Суть обеих стратегий (как и для рис.2) в введении карантина при определенном количестве зараженных в день (ЗД) и прекращении его при более низком уровне.

А разница между стратегиями состоит в самих уровнях как введения карантина, так и прекращения его. Они такие же как и для рис.2:

- для черной кривой карантин вводится при 10000 ЗД и прекращается при 1000 ЗД.
- для зеленой кривой эти уровни в 10 раз ниже - карантин вводится при 1000 ЗД и прекращается при 100 ЗД.

В примере рис. 3 мы предполагаем для иллюстрации предел ИИ равным 500 новых зараженных в день. Поэтому черная кривая находится целиком выше предела ИИ, не имеет участка ИИ и полностью идентична черной кривой на рис.2. Зеленая кривая находится с обеих сторон предела ИИ. В начале подъема зеленая кривая ниже предела ИИ, и поэтому ИИ работает, уменьшая количество ЗД и делая зеленую кривую пологой. По мере приближения к пределу ИИ зеленая кривая становится все круче, а выше предела ИИ она приобретает обычный наклон.

Из кривых на рис.3 очевидно, что период между карантинами существенно длиннее для зеленой кривой. Эта часть кривой построена в предположении, что от уровня 100 до предела ИИ (500) — индивидуальная изоляция длится несколько более 4 месяцев (т.е. в 2 с лишним раза дольше, чем при обычном «открытии»). На рис.3 видно, что благодаря этому пропускается целый цикл «открытие-карантин», и благодаря этому происходит уменьшение общего количества зараженных примерно в два раза.

Разумеется, что показатели зеленой кривой на рис.3 также существенно лучше (примерно, в 2 раза, в зависимости от режима ИИ), чем показатели зеленой кривой на рис.2, которая отражает тот же режим (от 100 до 1000), но без ИИ.

Очевидно, что доведение карантина до более низкого уровня позволяет ввести ИИ и весьма существенно увеличить период до достижения точки начала следующего карантина, а в определенных случаях и вообще избежать его*.

***Замечание.** При правильно организованной стратегии борьбы с пандемией обычно выделяются и изолируются так называемые «красные» регионы страны с наиболее высоким уровнем ЗД. Если это делается вовремя, то их количество ограничено. Тогда туда можно направить людские и технологические ресурсы из других районов страны, чтобы поднять «планку» - предел ИИ в этих регионах до уровня максимального значения, при котором начинается карантин. В этом случае есть возможность избежать карантина даже в «красных» регионах. Разумеется, это возможно только при планировании начинать карантина уже на сравнительно низком уровне заражения, например, на уровне 1000 ЗД или меньше (но никак не на 10,000 ЗД!).

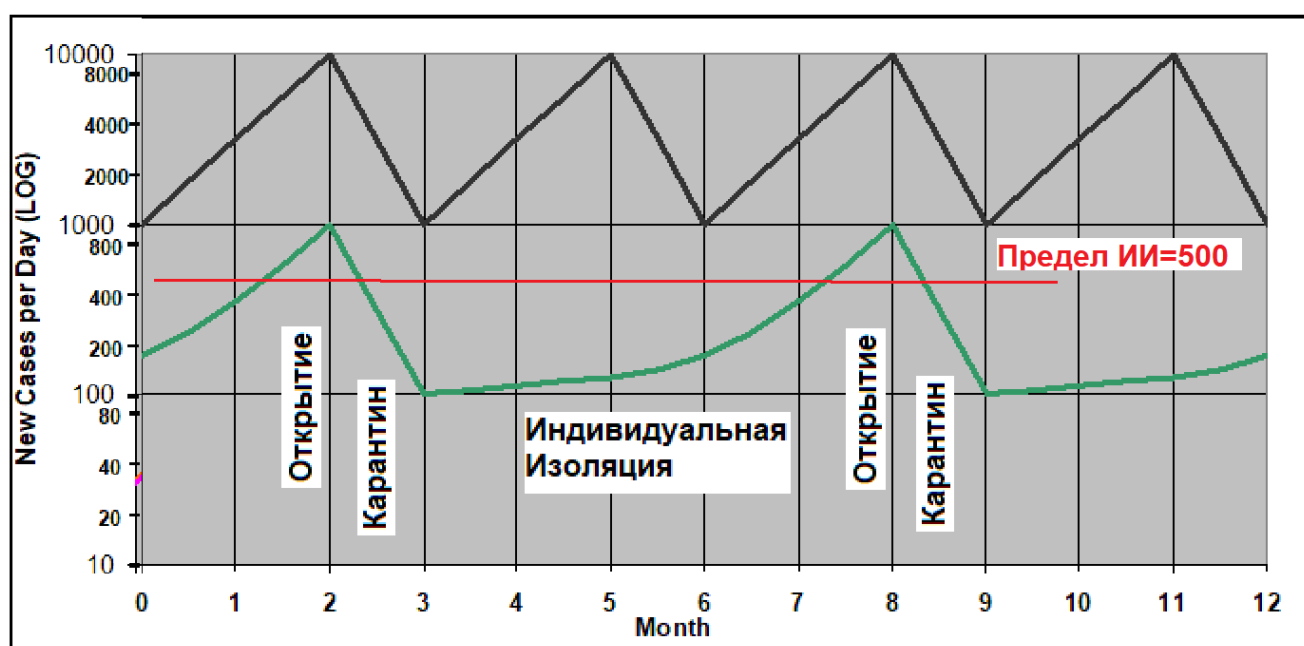


Рис.3. Сравнение двух стратегий, использующих индивидуальную изоляцию.

3. Приложение

3.1. Связь коэффициента заражения (Q) с НАКЛОНОм на полулогарифмическом графике

Для последовательности зараженных в день (ЗД) по дням:

... $a_1, a_1 \cdot Q^1, a_1 \cdot Q^2, a_1 \cdot Q^3, \dots, a_1 \cdot Q^{(n-1)}$,

где $a_n = a_1 \cdot Q^{(n-1)}$ - **максимальный уровень ЗД**, отсюда: $Q^{(n-1)} = a_n / a_1$.

Логарифмируя обе части последнего уравнения, получим:

$$\text{LOG}(Q) = (\text{LOG}(a_n / a_1)) / (n-1) = (\text{LOG}(a_n) - \text{LOG}(a_1)) / (n-1),$$

где выражение с правой стороны равно НАКЛОНу на полулогарифмическом графике, т.е.:

$$\text{LOG}(Q) = \text{НАКЛОН}.$$

$$\text{Тогда : } Q = 10^{\text{НАКЛОН}}.$$

3.2. Коэффициент заражения для случая рис.2 и общее количество зараженных

- Отметим, что из параграфа 3.1 и формулы $Q^{(n-1)} = a_n / a_1$ следует, что если процессы заражения одинаковы (один и тот же Q), то и время до начала карантина (n) одно и то же. Верно и обратное, при одинаковом времени до начала карантина коэффициент Q зависит только от

отношения a_n/a_1 , поэтому для обоих графиков Рис.2 Q одинаков, поскольку одинаковы отношения $1000:100=10$ и $10000:1000=10$.

Поэтому для обоих графиков (с одинаковыми временем до начала карантина и отношениями коэффициентов a_n/a_1) имеем:

$$Q=(a_n/a_1)^{1/(n-1)} = 1.0316 - \text{для периода «открытия», перед карантином.}$$

- В соответствии с известной формулой для суммы геометрической прогрессии (S) для общего количества зараженных, в течение того же периода «открытия» имеем:

$$S=a_1*(Q^{n-1}-1)/(Q-1).$$

Тогда для черной кривой рис.2 ($a_1=1000$) получаем $S_1=294763$ зараженных;

А для зеленой кривой того же рис.2 ($=100$) получаем $S_2=29476$ зараженных.

Если оценить уровень смертности в 1% от количества зараженных, то количество смертей будет, соответственно, 2,947 и 294 человека. Т.о. правильная выбранная стратегия борьбы с пандемией сократит число её жертв в десять раз, или на 2,653 человека, и это только на первой стадии, перед карантином!

Выводы

а) Представление данных по пандемии

Его предпочтительнее проводить, используя графики с полулогарифмической шкалой, которые с максимальной наглядностью отображают основные процессы развития пандемии. Сделать это вполне реально, т.к. статистика подобных процессов часто представляется также и в таком виде. Дополнительным преимуществом полулогарифмических графиков является простота составления по ним прогноза развития пандемии.

б) Типы стратегий борьбы с развитием пандемии

b1. Влияние уровня начала и конца карантина.

Лишняя неделя/две 1-ого карантина позволяет в дальнейшем проводить дополнительные карантинные (если понадобится) на более низком уровне и в более узком диапазоне. Это даст возможность резко (в десять раз и более) уменьшить как максимальное количество заболевших в день (ЗД), так и общее количество заболевших, а значит и смертей.

b2. Влияние строгости соблюдения карантина.

Устрожение карантина позволяет существенно снизить число ЗД до приемлемого уровня и значительно уменьшить продолжительность карантина. Количественно учесть влияние этого фактора непросто, но, видимо, все же следует проводить устрожение как вынужденную меру. И объяснять населению, что, хотя эта мера порой и нарушает некоторые гражданские свободы, но она является временной, а альтернативой ее являются дополнительные смерти тысяч людей.

b3. Влияние индивидуальной изоляции (ИИ).

Введение ИИ позволяет весьма существенно увеличить период до достижения точки начала карантина, что может привести к уменьшению общего числа заболевших в два и более раз. В определенных случаях есть неплохие шансы вообще избежать карантина. Это можно осуществить, к примеру, в условиях b1 и в случае, если верхний предел ИИ будет установлен на уровне начала карантина. Следует также учесть, что скорее всего возникнет потребность и в дополнительной помощи «красным» районам с высоким уровнем инфицирования, так что будет необходимо направлять туда людей и оборудование для обеспечения высокого уровня ИИ даже в этих районах.

Замечания

- Данная статья посвящена только одному аспекту пандемии – медико-социальному, когда в результате резкого увеличения смертности населения, переполнения больниц, введения карантина и приостановки всех видов деятельности в стране общество переживает шок, и важнейшим мерилом его является смерть людей. Но есть и другие аспекты пандемии, которые также важны для жизни страны. Например, экономические и финансовые потери, вызванные

эпидемией и карантинами. И это может стать темой другого рассмотрения – продолжения данного.

- В Израиле распространяется преждевременный оптимизм о том, что с пандемией почти покончено, и поэтому может сложиться впечатление о том, что данная статья посвящена анализу явления уже не актуального. К сожалению, реальность совсем иная. И не только потому, что в других странах пандемия все еще продолжается в тех же масштабах. И не потому, что среди возникающих новых штаммов Ковида-19 реально могут появиться и такие, для которых существующие вакцины окажутся бесполезными. Но кроме всего прочего и потому, что существуют еще и опасности со стороны других вирусов, особенно зоонозов (носители - животные), например, птичьего гриппа (смертность более 50%), вспышки которого периодически наблюдались в Юго-Восточной Азии с начала 21 века. От пандемии нас спасало тогда только то, что этот вирус передавался исключительно от птиц к человеку. И от глобальной катастрофы человечество отделяли, возможно, только еще одна-две мутации, которые могли бы обеспечить передачу этого вируса и от человека к человеку (Доктор А. Мясников. «Инфекции», Москва, 2020 [3]).

Литературные ссылки

[1] [Home/ Diseases/Coronavirus disease \(COVID-19\)/Strategy and planning.
https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/strategies-and-plans.](https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/strategies-and-plans)

[2] COVID-19 case management strategies: what are the options for Africa?
<https://idpjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40249-021-00795-7>

[3] Доктор А. Мясников. «Инфекции».
<https://ria.ru/20210220/myasnikov-1598364691.html>