

Математическое моделирование распространения инфекций, передающихся половым путем. Значение для общественного здоровья и здравоохранения

С. Л. Плавинский

Санкт-Петербургская медицинская академия последипломного образования, Россия

В статье устанавливается, что использование даже простых моделей распространения ИППП позволяет оценить размеры эпидемии, особенности ее течения и наметить стратегию профилактики с учетом особенностей развития инфекционного процесса.

Ключевые слова: ИППП, математическое моделирование, общественное здоровье, эпидемиология, инфекция, модель

Утверждение о том, что инфекции, передаваемые половым путем (ИППП), в настоящий момент превратились в одну из важнейших проблем здравоохранения, вряд ли нуждается в длительном доказательстве. Достаточно взглянуть на данные официальной статистики. Согласно приводимым Санкт-Петербургским Бюро медицинской статистики сведениям (<http://www.zdrav.spb.ru>), в 1999 году заболеваемость ИППП (все формы, включая гепатит В) составила 98,3 на 10 тыс. населения. Учитывая, что в тот же год заболеваемость воспалительными заболеваниями органов малого таза у женщин (которые так же очень часто являются следствием ИППП) составила 64,9 на 10 тыс. населения. Иными словами служба здравоохранения сталкивалась с ИППП и их последствиями с частотой около 163,2 на 10 тыс. населения. В качестве сравнения можно указать, что в том же 1999 году заболеваемость гриппом составила 412,4 на 10 тыс., а кишечными инфекциями — 18,1 на 10 тыс. Соответственно, заболеваемость ИППП и их последствиями лишь в два раза ниже заболеваемости гриппом и почти на порядок выше заболеваемости кишечными инфекциями. И это притом, что для расчетов используется все население, а не только его сексуально-активная часть. Если же мы попытаемся исключить пожилое население и детей предпубертатного возраста, и учесть более низкую регистрируемость ИППП, то заболеваемость вполне может приблизиться к таковой для гриппа. И ситуация в Санкт-Петербурге еще не самая серьезная — по некоторым данным распространенность только сифилиса в Туве и Хакасии превышает 1% [12].

Чем же в этой ситуации нам может помочь математическая эпидемиология?

Математическая эпидемиология — это раздел общей эпидемиологии, который занимается математическим моделированием процессов распространения заразных заболеваний. В последнее время в мире наблюдается повышенный интерес к моделям математической эпидемиологии в связи с необходимостью прогнозировать распространение эпидемии ВИЧ/СПИД. Ряд подобных моделей включает экономический компонент и позволяет оценить негативный эффект, который эпидемия ВИЧ окажет не только на состояние здоровья, но и экономику пораженной страны. Надо сказать, что пример африканских стран, указывает на осуществление самых мрачных экономических прогнозов относительно эпидемии ВИЧ.

В то же время, моделирование распространения ИППП имеет значительно более длительную историю и позволяет анализировать не только эффект распространения этих заболеваний, но и проводить сравнительный анализ различных подходов к

профилактике. Именно для этого — моделирования эффектов профилактических вмешательств и результата «невмешательства» и используются модели.

Используемые модели имеют разную степень сложности, однако чаще всего используется два варианта упрощенных моделей. Первая, которая наилучшим образом отработана на примере гонореи, называется SIS модель (английская аббревиатура susceptible-infected-susceptible, что в русском переводе восприимчивый-инфицированный-восприимчивый). Данная модель предполагает, что к заболеванию нет иммунитета, и сразу же после выздоровления человек вновь может заразиться. Вторая модель имеет сокращение SIR (susceptible-infected-removed или восприимчивый-инфицированный-удаленный) и предполагает, что излечение невозможно, поэтому для инфицированных индивидуумов путь один — смерть (правда, не обязательно от изучаемого заболевания). Данная модель обычно дополняется предположением об открытости популяции (т.е. в популяцию идет постоянный приток новых членов), при этом для упрощения принимают, что количество рожденных примерно равно количеству умерших — т.е. средняя численность популяции сильно не меняется. В условиях открытой популяции с притоком равным оттоку, SIR модель превращается в SIS модель, и поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать только последнюю.

Из общетеоретических представлений о процессе распространения инфекции, единственным хозяином которой является человек понятно, что будет или нет эпидемия расти, зависит от того, сколько человек может заразить за время своего заболевания инфицированный пациент. Если это число (называемое репродуктивным отношением инфекции, R) оказывается выше 1, то эпидемия нарастает. Если оно ниже 1, то эпидемия идет на спад. При этом репродуктивное отношение может оказаться ниже 1 не только вследствие действий системы здравоохранения, но и в результате снижения количества восприимчивых к инфекции индивидуумов. Предположим, что у нас есть небольшая община из 10 восприимчивых человек. Один из них заражается неким заболеванием, которое длится один месяц и за это время он может заразить 3 человек. К концу месяца больны будут трое (первоначальный случай выздоравливает), а вот к концу второго месяца — уже 7 человек (10 восприимчивых минус 3 больных равно 7 восприимчивых, $R=7/3=2,3$). К концу третьего месяца больны будут всего лишь трое (10 восприимчивых минус 7 больных равно 3 восприимчивых, $R=3/7=0,43$), а затем цикл повторится опять. Этот простой пример показывает, что, с одной стороны, динамика эпидемии может не зависеть от усилий служб здравоохранения, а с другой, что репродуктивное отношение не позволяет описать восприимчивость популяции к инфекции. В этой связи еще в 1909 году R.Ross [11] предложил использовать для прогнозирования течения инфекции базовое репродуктивное число инфекции (R_0), которое определяется как число пациентов, которое может инфицировать один человек в момент, когда заболевание впервые вносится в популяцию (в нашем примере оно было равно 3). Если это число больше единицы, то инфекция будет распространяться до тех пор, пока не достигнет эндемического равновесия (в SIS модели это равновесие будет связано с истощением возможностей для заражения). Как было показано H.Hethcote и J.Yorke (1984) [6], уровень эндемического равновесия определяется формулой $p=1-1/R_0$.

Таким образом, в описанном выше упрощенном примере уровень эндемии составит $1-1/3=0,7$, результат, который был получен и используя лишь логический анализ ситуации.

Итак, базовое репродуктивное число является важнейшей характеристикой инфекции, но от чего зависит оно само? Поскольку ИППП передаются при интимном контакте, то эта величина должна зависеть от количества половых партнеров и вероятности передачи инфекции при однократном половом акте. Кроме того, она должна зависеть от продолжительности заразного периода. Как показали R.Anderson и R.May (1986) [2], репродуктивное число в случае ИППП равняется $R_0=\beta*c*D$, где β — вероятность передачи инфекции при однократном половом сношении (или от одного партнера), c — количество

половых партнеров в течение определенного промежутка времени (обычно года) и D — продолжительность заразного периода в тех же единицах времени.

Таким образом, инфекция поддерживается: (1) высокой заразностью (высокой эффективностью передачи); (2) высокой частотой смены партнеров (большим числом партнеров) и (3) длительным течением заболевания.

Что же мы имеем в случае ИППП? Как ни странно, многие из этих заболеваний не обладают высокой заразностью (с примечательным исключением гонореи). В таблице 1 приведены оценки β и D , взятые из работ J. Wasserheit и S. Aral (1996) [13].

Таблица 1. Вероятности заражения и длительность инфекционного периода у некоторых ИППП

	β	D (лет)	
		Без лечения	С лечением
Гонорея	0,5	0,5	0,15
Хламидиоз	0,2	1,25	-
Сифилис	0,3	0,5	0,25
ВИЧ	0,001	?	?

Некоторые авторы [11] указывают на значительно большую заразность гонореи для женщин (вероятность заражения женщины: 0,6–0,8; мужчины: 0,2–0,3). Весьма интересным является и низкая заразность ВИЧ. Хотя вероятности заражения сильно зависят от особенностей сексуального поведения людей (вероятность заражения при рецептивном анальном сношении составляет 0,02; при рецептивном вагинальном сношении — 0,001), тем не менее, они очень малы, особенно в сравнении с вероятностями заражения «классическими» венерическими заболеваниями. Однако мы должны помнить, что нас, на самом деле, интересуют вероятности заражения не в расчете на один половой акт, а как результат интимной связи с инфицированным партнером. Этот показатель (обозначим его β_p) складывается из двух компонент — вероятности заражения в ходе однократного полового акта и количества половых актов с данным партнером. $\beta_p = 1 - (1 - \beta)^n$, где n — количество половых актов с данным партнером.

Оценка этого показателя позволяет провести очень интересный анализ вероятности заражения ВИЧ в зависимости от особенностей сексуального поведения. В прессе, особенно средствах массовой информации, неоднократно можно встретить предположения о том, что ВИЧ является болезнью «аморальных» людей: лиц с большим количеством сексуальных партнеров и проституток. Посмотрим, насколько данное предположение обосновано. Выберем для примера двух молодых женщин, которые ведут активную половую жизнь. Однако одна из них имеет всего лишь одного партнера, а вторая ведет «беспорядочную» половую жизнь. Вероятность заражения в течение года первой женщины определяется вероятностями того, что ее партнер ВИЧ+ (что равняется распространенности ВИЧ в популяции) и вероятностью заражения от ВИЧ-позитивного партнера. $P = \text{prev} * (1 - (1 - \beta)^n)$, где prev — распространенность ВИЧ в популяции, а n — количество половых актов за год.

Для второй женщины вероятность заражения определяется вероятностью того, что данный половой акт совершается с ВИЧ-инфицированным индивидуумом, или $P = 1 - (1 - \beta)^{n * \text{prev}}$, где prev — распространенность ВИЧ в популяции, а n — количество половых актов в течение года.

Поскольку для ВИЧ вероятность заражения при однократном половом акте (β) мала, можно упростить оба выражения согласно уравнению $(1 - x)^n = 1 - n * x$. Тогда вероятность

заражения для первой женщины составит $P = \text{prev} * (1 - (1 - \beta * n)) = \text{prev} * \beta * n$, а для второй $P = 1 - (1 - \beta * \text{prev} * n) = \text{prev} * \beta * n$. Иными словами, вероятность заражения для них будет *одинаковой*. Этот вывод кажется удивительным, особенно на фоне клинических данных об особенностях распространения венерических заболеваний. Однако следует подчеркнуть, что вывод был сделан в расчете на низкую вероятность заражения при однократном половом контакте. Для гонореи, например, вышеописанные рассуждения приводят к выводу о том, что вероятность заражения второй женщины будет в 50 раз выше, чем женщины, находящейся в моногамной связи.

Таким образом, модель сразу же делает важнейшее предсказание. ВИЧ, как и любое другое заболевание с низкой вероятностью передачи, будет с одинаковой силой поражать как лиц, живущих в моногамном браке, так и лиц с относительно частой сменой партнеров. Здесь, правда, следует оговориться, что речь идет о т.н. серийной моногамии, т.е. ситуации в которой нет одновременной связи с несколькими сексуальными партнерами. ВИЧ вряд ли будет распространяться в обществе, построенном на взаимной моногамии в течение всей жизни, однако пока такого общества исследователям найти не удалось. Современное общество признает серийную моногамию нормой жизни (учитывая высокий процент разводов и повторного вступления в брак) и именно общество, живущее по законам серийной моногамии, является целью и местом успешного размножения ВИЧ.

Вернемся к исходной модели. Показатели β и продолжительности инфекционного периода известны, остается лишь оценить количество половых партнеров. Надо заметить, что наличие относительно высокой заболеваемости ИППП свидетельствует о том, что в популяции имеются, как минимум, сегменты с относительно высокой частотой смены партнеров. Это было известно давно и привело к стигматизированию венерических заболеваний как болезней аморальных людей. Достаточно упомянуть о том, что до 1900 года врачи в США отказывались лечить пациентов с ИППП, считая, что эти заболевания являются доказательством (и даже наказанием) за промискуитет [3]. И хотя невозможно спорить с тем, что ИППП являются следствием отклонения от строго моногамных отношений, в реальности эти отклонения встречаются слишком часто, чтобы их можно было рассматривать как аберрацию. В 1996 году группа исследователей из России и Финляндии провела опрос 870 мужчин и 1210 женщин Санкт-Петербурга 1917–1981 годов рождения. 52% мужчин и 23% женщин сообщили, что они изменяли своему нынешнему супругу/супруге. При этом процент опрошенных, имевших внебрачные связи колебался от немногим более 25% среди лиц в возрасте 65–74, до 40% в возрастной группе 35–44 [4]. Высокий процент измен среди старшей возрастной группы указывает на то, что достаточно развитые сексуальные сети (по которым могут распространяться ИППП) существовали и в советское время. С изменением отношения к добрачным связям количество половых партнеров становится еще большим.

В настоящий момент найти данные по количеству половых партнеров не так уж легко, однако без этих данных прогнозирование ситуации с ИППП невозможно. Поэтому мы применили два подхода — оценка количества партнеров на основании опроса здоровых молодых людей [5] и оценка по данным о заболеваемости в Санкт-Петербурге. Опрос был проведен в 1999 году среди 199 человек (132 женщины, средний возраст $25,3 \pm 0,45$ лет; 67 мужчин, средний возраст $24,7 \pm 0,68$ лет). В данной группе возраст начала половой жизни был средним и составил $18,4 \pm 0,19$ для женщин и $17,0 \pm 0,25$ для мужчин. В то же время количество половых партнеров в течение жизни было достаточно большим и составляло $8,9 \pm 1,1$ для женщин и $13,4 \pm 1,6$ для мужчин. Однако для целей моделирования нам необходимо иметь данные о количестве партнеров за определенный промежуток времени, например год. Поскольку в опроснике эти данные отсутствовали, мы оценили их разделив общее число партнеров на время, пока человек живет половой жизнью (разность между возрастом на момент обследования и возрастом начала половой жизни). Данный подход является упрощенным, поскольку у людей периоды большего числа партнеров чередуются с периодами стабильных отношений, однако эта ошибка будет влиять на оценку скорости распространения инфекции, а не на ее общую

распространенность [1]. Среднее количество партнеров в год составило $1,4 \pm 0,2$ у женщин и $2,1 \pm 0,3$ у мужчин. Вместе с тем, просто опираться на среднее количество партнеров было нельзя. Дело в том, что в популяции людей количество половых партнеров не подчиняется нормальному закону распределения, когда есть некоторое среднее число и наличие лиц с резким отклонением от среднего маловероятно. Практически все опросы показывают, что существует небольшое количество лиц, которые имеют наибольшее количество партнеров (лица с промискуитетным поведением). Более того, количество партнеров снижается по степенному закону, что является характеристикой т.н. непараметрических сетей [7]. Интерес к непараметрическим сетям сейчас велик, поскольку они описывают распространение инфекции в двух не связанных друг с другом, но очень важных сетях – сетях сексуальных контактов (ИППП) и Интернет (компьютерные вирусы). Не так давно было показано, что в непараметрических сетях нет эпидемического порога [9], т.е. эпидемия, один раз проникнув в такую сеть, будет существовать в ней чрезвычайно долго, даже если R_0 и будет меньше 1. В то же время, для целей данного обсуждения это не играет большого значения, так как при R_0 меньше 1, даже в непараметрических сетях эпидемия начинает быстро сходиться на нет, хотя и не исчезает полностью. В табл. 2 приведены данные по среднему количеству половых партнеров в течение года.

Таблица 2. Распределение опрошенных по количеству половых партнеров в год

Число партнеров в год	Мужчины	Женщины
Менее 1	7	23
1	33	69
2	11	19
3	6	9
4	3	2
5	2	4
6	1	2
8	1	-
9	1	-
11	1	-
12	1	-
19	-	1

Видно, что, несмотря на то, что большинство опрошенных имеет одну или менее одной смены партнеров в год, имеются лица со значительным количеством половых контактов. Для того, чтобы учесть их наличие предлагается два основных варианта — рассчитать среднюю эффективную скорость смены партнеров по формуле: $c = m + \sigma^2/m$, где m — среднее количество половых партнеров в группе, а σ — показатель разброса данных (стандартное отклонение); или оценить R_0 для каждой группы (с определенным числом половых партнеров), а затем рассчитать средневзвешенную величину.

Оценка по первой методике дает нам показатели c для женщин $c = 1.4 + 4.0/1.4 = 4.2$; а для мужчин $c = 2.1 + 5.6/2.1 = 4.8$.

Таким образом, уже становится возможным оценить вероятность распространения ИППП в данной группе лиц. Так, для гонореи, используя среднее число партнеров между мужчинами и женщинами, имеем $R_0 = (4,2 + 4,8)/2 * 0,5 * 0,5 = 1,125$. Без лечения в этой группе гонорея будет расти, до достижения эндемического равновесия на уровне 11,1%. Однако в настоящий момент гонорея чаще подвергается лечению, поэтому правильнее было бы использовать для показателя D значение 0,15, тогда $R_0 = (4,2 + 4,8)/2 * 0,5 * 0,15 = 0,335$. В такой

ситуации могут возникать спорадические случаи, но эпидемии не будет. Этот пример иллюстрирует важное положение — в случае ИППП лечение является основой профилактики. При этом задачей терапии является не предотвращение осложнений (полное излечение пациента), а снижение его заразности.

Продемонстрируем еще один подход к профилактике — снижение вероятности заражения при половом контакте — использование презервативов. Обзор литературы показывает, что презервативы снижают риск передачи гонореи на 70% у мужчин и на 40% у женщин. Тогда вероятность заражения мужчины составит $0,3 \cdot (1-0,7) = 0,21$, а вероятность заражения женщины — $0,7 \cdot (1-0,4) = 0,42$. В среднем, вероятность заражения гонореей составит $(0,21+0,42)/2 = 0,31$. Используем эти данные в нашей модели: $R_0 = (4,2+4,8)/2 \cdot 0,31 \cdot 0,5 = 0,70$. Использование презервативов, не снижая риск заражения гонореей до нуля, приводит к падению R_0 ниже единицы и исчезновению эпидемии.

Итак, моделирование эпидемии приводит к демонстрации нескольких возможных подходов к профилактике ИППП и борьбе с эпидемией:

- 1) Снижение эффективности передачи (использование презервативов).
- 2) Снижение количества партнеров и/или частоты их смены (пропаганда сексуальной абстиненции и моногамии).
- 3) Снижение длительности заболевания (своевременное лечение).

Однако возникает вопрос, когда мы говорим о своевременном выявлении и лечении ИППП, особенно тех, которые часто текут бессимптомно (например, хламидиоз), то кого следует обследовать? До ответа на этот вопрос разберем второй вариант оценки суммарного значения R_0 . Для этого необходимо рассчитать R_0 в каждой группе и оценить относительный вклад группы в общее число половых контактов в популяции [4]. Последний показатель равен произведению числа половых партнеров у участников группы на численность группы, отнесенному к сумме подобных произведений для всех групп: $cp_i = c_i \cdot n_i / \sum (c_i \cdot n_i)$. Проведем подобные расчеты для группы женщин, опираясь на приведенные выше данные (табл.2), считая для хламидиоза $\beta = 0,2$ и $D = 1,25$ года.

Таблица 2. Анализ суммарного репродуктивного числа при наличии нескольких групп риска

Число партнеров в год (с)	n	$n_i c_i$	cp_i	R_0	$cp_i \cdot R_0$
Менее 1 (0)	23	0	0	0	0
1	69	69	0,36	0,25	0,09
2	19	38	0,20	0,50	0,10
3	9	27	0,14	0,75	0,10
4	2	8	0,04	1,00	0,04
5	4	20	0,10	1,25	0,13
6	2	12	0,06	1,50	0,09
19	1	19	0,10	4,75	0,47
Сумма		193	1,0		1,03

Полученные данные полностью совпадают с таковыми при использовании первого подхода (если используется одинаковое округление числа партнеров). R_0 более 1, что означает возможность распространения в данной популяции хламидийной инфекции до достижения эндемического уровня около 3%. Однако методика учета групп риска

позволяет оценить возможную эффективность лечебных мероприятий. Предположим, что мы выявляем и обследуем только трех женщин с наивысшим количеством партнеров (6 и 19). Мы никоим образом не влияем на их поведение, однако в результате диспансерного наблюдения можем добиться снижения продолжительности инфекционного периода до одного года. Тогда соответствующие значения R_0 составят 1,2 и 3,8, а суммарное значение $R_0=0,91$. Эпидемия пойдет на убыль. С другой стороны, если программа будет направлена на женщин группы низкого риска (смена одного партнера и менее в год). Таких женщин в данной группе 92. При лечении R_0 составят 0 и 0,2, суммарное $R_0=1,006$ и эпидемия все равно останется в популяции. Другими словами, проводя скрининг групп низкого риска необходимо будет затратить больше сил и средств на выявление ИППП, но при этом эффект на заболеваемость будет не очень выраженный.

Таким образом, моделирование подсказывает, что для лечения с целью предотвращения распространения эпидемии необходимо концентрировать внимание на группе риска (или ядерной группе). Но как обнаружить лиц этой самой ядерной группы? Здесь надо вернуться немного назад к описанию сексуальных сетей. Непараметрические сети предполагают, что небольшое количество лиц имеет очень большое количество связей. Отсюда следует, что их партнерами обычно будут являться люди с небольшим количеством связей. Поэтому, если мы попытаемся выяснить, кто заразил данного пациента, мы очень быстро подберемся к группе риска (ядерной группе). Н.Hethcote и J.Yorke (1984) [6] сформулировали следующее правило для выявления группы риска: «необходимо найти женщину, заразившую мужчину, заразившего женщину». Поскольку сексуальные сети отвечают правилам «малого мира» (между их членами всегда немного посредников, вне зависимости от общих размеров сети), то поиск группы риска с использованием «восходящей» методологии упрощается.

Однако в реальном мире, поиск этой женщины будет осложнен тем фактом, что скорее всего она будет находиться в группе работников коммерческого секса. Согласно уже упоминавшемуся опросу в Санкт-Петербурге [5], не менее 10% мужчин когда-либо использовали коммерческий секс (платили за секс). В то же время, 4% опрошенных женщин получали за секс деньги или иные экономические преимущества. Интересно, что эти цифры близки к полученным в Швеции и Финляндии для мужчин, но почти в четыре раза выше для женщин. Особенно много женщин, обменивавших секс на деньги, было среди возрастной группы 18–24 лет (почти 5%).

Данные, полученные на Украине [4], показали наличие как минимум пяти групп среди проституток. Первая группа, которая была названа «хаотичной», состояла из девушек 11–18 лет, которые подрабатывали проституцией после школы 2–3 раза в неделю. Вторая группа, со средним возрастом 26 лет, работали через женщин-сутенеров и имели обычно постоянных клиентов. Две трети из них перенесли хотя бы одно венерическое заболевание на протяжении трех лет исследования (1994–1997). Третья группа «работала» около заводов и других мест массового скопления людей и обслуживала от 20 до 40 клиентов в неделю. Средний возраст в этой группе составлял 19 лет. Почти все они переносили в течение года хотя бы один раз ИППП. Четвертая группа состояла из девушек, работавших в отелях или по вызову. И, наконец, пятая группа, охватывавшая до половины всех проституток, работала на улице, соглашалась на любые условия и включала очень высокий процент опийных наркоманов.

Знание особенностей групп риска необходимо для адекватного планирования противоэпидемических мероприятий. В Санкт-Петербурге можно бы было постулировать наличие групп риска на основании анализа заболеваемости ИППП, даже если не знать о реальных фактах их наличия. Так, если взять заболеваемость по гонорее (которая составила в 1999 126,7 на 100 тыс.), то при этом уровне заболеваемости распространенность составит около 253,4 на 100 тыс. (распространенность примерно равна отношению заболеваемости к продолжительности заболевания). Тогда легко рассчитать, что R_0 должно составить 1,004 ($R_0=1/(1-prev)$, где $prev$ — распространенность).

Исходя из этого R_0 и беря данные из табл. 1, можно оценить эффективную частоту смены партнеров в 4,02 в год для популяции Санкт-Петербурга в целом. Аналогичные результаты получаются и при использовании данных о заболеваемости хламидиозом ($c=4,01$). Данные о заболеваемости сифилисом дают значительно меньшие оценки «с» если брать максимальный период инфекционности ($c=2,7$). На самом деле, наверное, лечение несколько занижает данные об эффективной частоте смены партнеров, однако опираясь на данные по хламидиозу (заниженная распространенность) можно сказать, что величина «с» не менее 4, но не может превышать 13 (расчет при самой короткой продолжительности инфекционного периода — с лечением). Следует, однако, помнить, что при расчетах использовались данные по отношению ко всей популяции Санкт-Петербурга. Однако в городе достаточно велика прослойка пожилых людей. Если сексуально-активная часть населения составляет 60% популяции, то соответствующие оценки для «с» составят 6,7–21,7. Это уже значительно выше полученного при опросе и предполагает наличие группы риска, которая не попала в исследование.

Как бы там ни было, полученные значения «с» позволяют грубо оценить и размеры эпидемии ВИЧ, передаваемой гетеросексуальным путем (мы сознательно не обсуждаем сейчас эпидемий в среде внутривенных наркоманов). Подставляя полученные результаты в формулы для R_0 и расчетов распространенности, получаем, что в первом случае она будет равна 3,1%, а во втором — 3,6% (если период инфицированности ВИЧ продолжается около 10 лет). Следует обратить внимание на небольшие различия в зависимости от числа половых партнеров — выше уже упоминалась необычная характеристика ВИЧ, которая делает его «независимым» от количества партнеров (ввиду низкой заразности). Вообще можно показать, что при небольшой потере точности размер эпидемии ВИЧ описывается на основании только двух параметров — вероятности заражения и продолжительности инфекционной стадии.

Ранее было показано, что вероятность заражения в течение года составляет $\beta \cdot n$, где n — количество половых актов с одним партнером в течение года. Если человек имеет в течение года «с» партнеров, то вероятность заражения от одного из них составляет $\beta \cdot n / c$. Тогда выражение для R_0 приобретает вид $\beta \cdot n / c \cdot c \cdot D = \beta \cdot n \cdot D$, или характеристики эпидемии зависят от сексуальной активности в популяции (а не степени promiscuiteta) и вероятности заражения.

Из этой модели следует, что единственным действенным способом борьбы с эпидемией ВИЧ будет снижение вероятности заражения при половом акте (использование презервативов), поскольку снижение общего уровня сексуальной активности вряд ли возможно.

Таким образом, использование даже простых моделей распространения ИППП позволяет оценить размеры эпидемии, особенности ее течения и наметить стратегию профилактики с учетом особенностей развития инфекционного процесса.

Список литературы

1. Полонская И.Б. Клиническая и психологическая характеристика больных, имеющих сексуальные нарушения при невротических и личностных расстройствах // Автореф. дисс. к.м.н. С.Петербург. 2000. 25с.
2. Anderson R., May R. The transmission dynamics of human immunodeficiency virus (HIV) // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Biological Science 1988. Vol. 321, № 1207. P. 565 607.
3. Cates W., Holmes K. Sexually Transmitted Diseases. In: Public Health and Preventive Medicine / Ed by R.Wallace. Stamford: Appleton & Lange, 1998. P. 137 167.

4. Garrett L. Betrayal of trust. N.Y.: Hyperion, 2000. 754p.
5. Haavio-Mannila E., Rotkirch A. Gender polarisation and liberalisation: comparing sexuality in St. Petersburg, Finland and Sweden. // *Id?ntutkimus*. 2000. № 2. P. 4 25.
6. Hethcote H., Yorke J. Gonorrhoea transmission dynamics and control. Lecture notes in Biomathematics. -- N.Y., Berlin: Springer-Verlag, 1984. 104p.
7. Hyman J., Li J. An intuitive formulation for the reproductive number for the spread of the diseases in heterogeneous populations // *Mathematical Biosciences*. 2000. Vol. 167, №1 P. 65 86.
8. Koopman J., Kwon J-W., Chick S., Simon C., Jacquez J. The role of early HIV infection in HIV transmission dynamics (<http://www.sph.umich.edu/~jkoopman/EarlyInf.htm>).
9. Liljeros F., Edling C., Amaral L., Stanley E., Aberg Y. The web of human sexual contacts // *Nature*. 2001. Vol. 411. P. 907 908.
10. Pastor-Satorras R., Vespignani A. Epidemic spreading in scale-free networks // *Physical review letters*. 2001. Vol. 86, № 14. P. 3200 3203.
11. Ross R. The prevention of malaria. London: Murray, 1911. - 398p.
12. Swan B., Levin N. Syphilis // *eMedicine Journal*. 2001. Vol. 2, № 11. (<http://www.emedicine.com/derm/topic413.htm>)
13. Wasserheit J.N., Aral S.O. The dynamic topology of sexually transmitted disease epidemics: implications for prevention strategies // *J. Infect. Dis*. 1996. Vol. 174, Suppl. 2. P.201 213.

Mathematical modeling of sexually transmitted infections spread. Public health implications.

Plavinsky S.L.

PhD, St. Petersburg Medical Academy of Postgraduate Education

The article states that even the use of simple STIs models can facilitate the estimations of the epidemic rate, specify its course and outline the corresponding prevention strategy.

Key words: STI, mathematical modeling, public health, epidemiology, infection, model