

Т.Ф. БАЛАБАЕВ

Высшая школа общественного здравоохранения МЗ РК, г. Алматы

### МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВИЧ-ИНФЕКЦИИ: МЕТОДОЛОГИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ

В работе представлены данные результатов исследований зарубежных и отечественных авторов по моделированию и прогнозированию ВИЧ-инфекции. Отмечено, что существует большое разнообразие методологических приемов по применению математических методов для прогнозирования заболеваемости ВИЧ-инфекции. В этой связи для противодействия эпидемии ВИЧ-инфекции в Казахстане необходимо разработать и внедрить национальную модель прогнозно-аналитической оценки эпидемиологической ситуации при ВИЧ-инфекции.

**Ключевые слова:** прогнозирование, моделирование, ВИЧ-инфекция, экстраполяция.

Начиная с 1981 года, когда впервые в мире был диагностирован первый случай ВИЧ-инфекции, уже инфицировано 34 млн. человек. По данным Объединенной Программы ООН по ВИЧ/СПИДу (ЮНЭЙДС), в настоящее время пандемия ВИЧ-инфекции стабилизировалась, но на очень высоком уровне [1]. В Казахстане по данным Республиканского Центра по профилактике и борьбе со СПИД на 01.01.2013г. с нарастающим итогом зарегистрировано 19784 случая ВИЧ-инфекции, умерло от СПИДа 1278 человек, в том числе 8 детей до 14 лет.

Отсутствие эффективных средств лечения, вакцинации в настоящее время не позволяет органам и учреждениям здравоохранения республики адекватным образом осуществлять эпидемиологический надзор, проводить в полном объеме комплекс мероприятий по противодействию эпидемии ВИЧ-инфекции. Между тем современное направление стратегии борьбы с ВИЧ-инфекцией во многом определяется научно-обоснованной системой оценки эпидемиологической ситуации ВИЧ-инфекции с помощью математических моделей, которые с большой достоверностью могут выявить закономерности эпидемиологического процесса, прогнозировать ожидаемый уровень заболеваемости. В настоящее время ЮНЭЙДС, ВОЗ (2007) используют три математические модели для получения оценочных данных: «Программный пакет для оценки и прогнозирования (ПОП)», «Рабочий журнал», программу «Спектрум» [2]. Данные модели позволяют в какой-то степени получать ориентировочные оценки, касающиеся изменения показателя распространенности ВИЧ-инфекции во времени, числа людей, живущих с ВИЧ, новых случаев инфекций и смертей вследствие СПИДа, детей, осиротевших в результате СПИДа, потребностей в лечении. Однако параметры, включенные в основу данных моделей, существенным образом нуждаются в коррекции с учетом эпидемиологических и социологических исследований на конкретных территориях.

Целью работы явился анализ данных литературы по отечественному и зарубежному опыту моделирования и прогнозирования ВИЧ-инфекции.

Первые попытки моделирования и прогнозирования эпидемических процессов инфекционных болезней относятся к XIX столетию (Farr W., 1840). Но лишь работы Кермака и Мак Кендрика (Kermack W.O., Mc Kendrick, 1927), создавшие знаменитую теорию порогов, ознаменовали собой возникновение новой дисциплины – математической теории эпидемии. Эта теория, согласно которой введение малого числа инфекционных индивидов в популяцию восприимчивых к заражению индивидов не приводит к развитию эпидемии до тех пор, пока плотность или численность восприимчивых не превысит некоторого критического значения, по существу, наряду с законом действующих масс явилась краеугольным камнем современной теоретической эпидемиологии.

В дальнейшем, в мире повсеместно стало происходить быстрое увеличение числа научных публикаций, относящихся к математической эпидемиологии. За рубежом – это работы W.T. Bailey (1975), K. Dietz (1988), R.M. May (1986, 1991). В бывшем Советском Союзе методы математического моделирования и прогнозирования, в частности при гриппе активно разрабатывались О.В. Барояном, Л.А. Рвачевым, Ю.Г. Иванниковым (1977) [3].

В настоящее время методы моделирования и прогнозирования остаются наиболее актуальным вопросом эпидемиологии и общественного здравоохранения как основа планирования и организации профилактических мероприятий.

Понятие «прогноз» и «прогнозирование» постоянно уточняется по мере накопления новых научных знаний. Существуют несколько вариантов определений понятия прогноза. По Л.И. Лопатникову (1979), прогноз – научно обоснованное суждение о возможных состояниях объекта в будущем или об альтернативных путях и сроках достижения этих состояний [4].

Е.М. Четыркин (1975) периодом упреждения при прогнозировании называет отрезок времени от момента, для которого имеются статистические данные об изучаемом объекте, до момента, к которому относится прогноз. Некоторые авторы именуют его прогнозируемым периодом или периодом прогноза.

Из литературы известно более 150 методов прогнозирования, которые Е.Н. Шиган условно разделил на 4 группы:

- экспертные оценки;
- экстраполяция;
- математическое моделирование;
- комбинированные прогнозы [5].

Метод экспертных оценок большинство исследователей сочетают с другими методами прогнозирования, чаще всего с экстраполяцией. Следует отметить, что по данным ряда авторов [3, 5, 6] метод экстраполяции дает хорошие результаты, когда установлена зависимость изучаемых явлений по времени.

Зачастую для прогнозирования применяют различные группы моделей: логические, информационные и математические. Среди логических моделей особое место занимают так называемые модели-аналоги или имитационные модели. В основе метода аналогии лежит следующий принцип: свойства любых объектов тесно взаимосвязаны и изменение одного свойства влияет на другое [6].

В последнее время в литературе имеется достаточно научно-исследовательских разработок, посвященных математическому прогнозированию и моделированию ВИЧ-инфекции [7-24].

Анализ данных показал, что большинство исследователей, занимающихся вопросами моделирования и прогнозирования при ВИЧ-инфекции, строят исходные модели эпидемии на данных официальной статистики с учетом характерных особенностей распространения этой инфекции на конкретных территориях.

Так, Rey M. Anderson (1992) разработал на примере ВИЧ-инфекции 2 простые математические модели (гомосексуальный путь передачи инфекции в случае развитых стран и гетеросексуальный – в случае развивающихся стран) [7]. Суть моделирования заключается в следующем: популяцию делят на 2 эпидемиологические различные части. Предполагается, что индивиды в обеих частях одинаково восприимчивы к ВИЧ-инфекции. Доля инфицированных индивидов 1 со скоростью  $V_1$  (т.е. за характерное время  $1/V_1$ ) переходят в класс с клиническими проявлениями СПИДа. Предполагается, что эти инфицированные индивиды инфекционны, и с вероятностью  $\beta_1$  заражают партнера, вплоть до момента проявления ими симптомов СПИДа. Предполагается, что после этого они не участвуют в распространении вируса в популяции. У оставшейся доли инфицированных ( $1 - \beta_1$ ) СПИД не развивается. Эти индивиды тоже инфекционны, и вероятность

заражения партнера равна  $\beta_2$ , предполагается также, что со скоростью  $V_2$  (за характерное время  $1/V_2$ ) они переходят в неинфекционное состояние.

В Российской Федерации, К.Ф. Федоров (1998) с помощью имитационной модели, на примере гетеросексуальной популяции в г. Санкт-Петербурге, получил результаты, свидетельствующие, что процесс распространения ВИЧ среди наркоманов носит пороговый характер, который в численном выражении составляет не менее 50 ВИЧ-инфицированных [8].

В.В. Боевым и В.М. Бондаренко (1999) была предложена математическая (компьютерная) модель эпидемии ВИЧ-инфекции. Математическая «формула» модели имеет вид нелинейной системы интегрально-дифференциальных уравнений в частных производных с соответствующими граничными и начальными условиями, что позволило авторам вычислить и прогнозировать динамику эпидемии ВИЧ/СПИДа. Данная модель обеспечивала изучение процессов движения эпидемии ВИЧ-инфекции в 5 группах риска (гомосексуалисты и бисексуалы, активные гетеросексуалы, гетеросексуальное население, потребители инъекционных наркотиков, общее население) [16].

Опыт создания сложных математических моделей позволило В.В. Боеву (1992) разработать 2 типа математических моделей: 1) систему групповых моделей – Сигма, отражающая динамику заболеваемости СПИД в нескольких группах населения (на примере США и Франции); 2) модели эпидемии СПИД в однородной группе гомосексуалистов [15]. В последние годы авторам была предложена прогностическая модель распространения наркомании и ВИЧ-инфекции среди молодежи. Модель разработана с целью оценки последствий распространения наркомании среди молодых лиц, которые сегодня чаще используют наркотики внутривенно, и имеют высокий риск ВИЧ-инфицирования.

Применительно к ВИЧ-инфекции при логическом (имитационном) моделировании ряд авторов использовали заболевания с аналогичным механизмом распространения и результаты социологических исследований для определения распространения наркотиков и сексуального поведения наркозависимых лиц. Так, в Российской Федерации была разработана модель прогнозирования ВИЧ-инфекции, основанная на использовании материалов по заболеваемости сифилисом; в г. Санкт-Петербург предложено математическое моделирование эпидемического процесса ВИЧ-инфекции по материалам социологического исследования; в г. Кемерово сформулирована научная концепция эпидемиологического надзора на модели эпидемического процесса манифестных форм острого вирусного гепатита В [11, 12, 17, 18]. Анализ литературы показал, что в основе информативного моделирования лежит анализ потоков информации, выявление различных новых тенденций структурных сдвигов и других, так называемых, «информационных сигналов». К сожалению, данный метод не получил должного применения при ВИЧ-инфекции.

В Казахстане первые попытки моделирования и прогнозирования ВИЧ-инфекции отражены в работах М.К. Сапарбекова (1993, 1998, 1999), А.Т. Умбетпаева (2004) [19 - 24]. Так, в работе М.К. Сапарбекова (1999) проведено математическое моделирование эпидемического процесса при ВИЧ-инфекции с учетом ее автоволнового характера [23]. Автором были выдвинуты следующие предположения:

- 1) Популяция зараженных ВИЧ может пополняться за счет инфицирования ВИЧ большими людьми или вирусоносителями;
- 2) Популяция здоровых людей увеличивается за счет естественного воспроизводства и уменьшается в результате заражения ВИЧ-инфекцией.

В модели были использованы уравнения Вольтера, описывающих поведение нелинейных систем. В результате проведенных расчетов было отмечено, что автоколебательный характер эпидемического процесса позволяет ВИЧ длительное время циркулировать среди населения. Также было установлено, что на период автоколебания (Т) влияют такие факторы, как средняя продолжительность жизни, миграция населения, демографическая ситуация. Кроме того, автором была создана для локальных территорий Казахстана компьютерная программа, в которой математически были рассчитаны количественные и качественные показатели, характеризующие эпидемический процесс при ВИЧ-инфекции [23]. С использованием интегрально-дифференциальных уравнений была составлена математическая модель, и проведен анализ случаев ВИЧ-инфекции до 2000 года. При этом население республики было разделено на 5 групп: доноры, беременные женщины, гомосексуалисты и бисексуалы, лица с беспорядочными половыми связями, наркоманы. Согласно данной модели, прогнозируемое число ВИЧ-инфицированных по Казахстану к 2000 году составило 4216 случаев ВИЧ-инфекции. С использованием экспоненциальной модели А.Т. Умбетпаевым (2004) был составлен математический прогноз заболеваемости ВИЧ-инфекцией 2006 г. [24]. Прогностическая оценка показала, что в 2006 году в республике возрастет контингент ВИЧ-инфицированных по возрасту и полу, причем наиболее высокий уровень заболеваемости ожидается среди молодежи в возрасте 15-29 лет.

Таким образом, несмотря на определенный зарубежный и отечественный опыт по использованию математических методов для прогнозирования случаев ВИЧ-инфекции, в условиях Казахстана практически отсутствует национальная система оценки прогнозирования эпидемии ВИЧ-инфекции, вследствие чего специалисты республиканской службы по профилактике и борьбе со СПИД недостаточно владеют методами прогностико-аналитической оценки заболеваемости населения ВИЧ-инфекции на различных уровнях. Все это, очевидно, обуславливает разработку в стране принципов и методических подходов к моделированию и прогнозированию ВИЧ-инфекции. На первом этапе – необходимо совершенствовать механизм сбора данных для анализа, оценки и прогнозирования эпидемиологической ситуации при ВИЧ-инфекции. В дальнейшем разработать отечественную математическую модель оценки и прогноза развития эпидемии ВИЧ-инфекции на основе анализа ее распространения, изменения форм поведения, опасных с точки зрения инфицирования ВИЧ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Доклад ЮНЭЙДС о Глобальной эпидемии СПИДа (2012). – ЮНЭЙДС, 2012. – 96 с. (пер. с англ).
- 2 Доклад ЮНЭЙДС о Глобальной эпидемии СПИДа (2008). – ЮНЭЙДС, 2008. – 357 с. (пер. с англ).
- 3 Бароян О.В., Рвачев Л.А., Иванников Ю.Г. Моделирование и прогнозирование эпидемии гриппа для территории СССР. – М., 1977. – 546с.
- 4 Лопатников Л.И. Краткий экономико-математический словарь. М., 1979. – 221с.
- 5 Шиган Е.Н. Методы прогнозирования и моделирования в социально гигиенических исследованиях. – М., 1986. – 206с.
- 6 Кант В.И. Математические методы и моделирование в здравоохранении. – М., 1987. – 223с.
- 7 Anderson R.M., May R.M. Infectious diseases of Humans. Dynamics and Control//Oxford University Press. – 1991. – P.783.
- 8 Федоров К.В. Методы оценки распространения ВИЧ-инфекции для территории с низким уровнем инфицирования. Дисс.канд.мед.наук. СПб. – 1998. – 142с.
- 9 Тюлягин А.Н., Франк К.Д., Шашков В.А. Некоторые подходы к моделированию и прогнозированию эпидемий СПИД//В сб.: «Информатика в эпидемиологии». М., 1990. – С.130-134.
- 10 Чурносоев Е.В., Платошина О.В. Количественная оценка риска инфицирования ВИЧ половым путем//II регион. совещание специалистов Дальнего Востока по профилактике ВИЧ-инфекции, Якутск, - 1992. – С.29-33.
- 11 Бюллостин Н.С., Швец Р.А. Имитационная математическая модель пандемии СПИДа//ЖМЭИ. – 1991. - №2. – С.27-30.
- 12 Чурносоев Е.В., Смольская Т.Т. Имитационное моделирование распространения ВИЧ-инфекции половым путем. //II регион. совещание специалистов Дальнего Востока по профилактике ВИЧ-инфекции. Тез. докл. Якутск. - 1992. – С.10-13.

- 13 Боев Б.В., Франк К.Д., Шашков В.А. Математическое моделирование и прогнозирование массовых эпидемических процессов//В кн.: «Проблемы инфектологии». М., Медицина, 1991. – С.314-321.
- 14 Красюк М.Г., Дрынов И.Д., Яхно К.В. Математическое моделирование внутрибольничных вспышек ВИЧ-инфекции// В кн.: «Информатика в эпидемиологии», М., 1990. – С.109-113.
- 15 Боев Б.В. Новые информационные технологии в эпидемиологии: автореф. докт. физ.-техн. наук. М., 1992. – 48с.
- 16 Боев Б.В., Бондаренко В.М. Прогноз эпидемии ВИЧ-инфекции в России//ЖМЭИ, - 1999, №4, - С. 115-118.
- 17 Чурносов Е.В., Смольская Т.Т., Платошина О.В. Имитационное моделирование распространения ВИЧ-инфекции среди наркоманов//В кн.: «Актуальные проблемы ВИЧ-инфекции и СПИДа». Тез. Докл., СПб, 1991. – С.54-55.
- 18 Чурносов Е.В., Федоров К.В., Рушновская Е.Н., Балехан В.Н., Змушко Е.И. Имитационное моделирование процесса саморегуляции распространения ВИЧ-половым путем//Тез. докл. науч.-технич. конф., посвящ. 60-летию основания кафедры общей и военной эпидемиологии. СПб, 1996. – 51с.
- 19 Клебанов А., Сапарбеков М.К., Милков С.С. и другие. Прогнозирование ВИЧ-инфекции на локальной территории//Здравоохран. Казахстана. – 1993. - №1. – С. 19-20.
- 20 Сапарбеков М.К., Шуратов И.Х. Моделирование и прогнозирование эпидемического процесса при ВИЧ-инфекции//В сб. I-Межд. Конференция по первичной и вторичной профилактике ИППП. – Алматы, 1998. – С.102.
- 21 Умбетпаев А.Т., Байсеркин Б., Сапарбеков М.К. и другие. Прогнозирование ВИЧ-инфекции в Казахстане//Журнал «Гигиена, эпидемиология и иммунобиология». – 2004. - №1-2. – С. 75-79.
- 22 Умбетпаев А.Т., Сапарбеков М.К. Прогнозирование ВИЧ-инфекции в Казахстане//Тезисы Российско-Казахского научно-тактического семинара «Новые технологии и инновации в медицине». 17-18 мая 2004г., Караганда. – С.39-41.
- 23 Сапарбеков М.К. Научные основы организации эпидемиологического надзора и профилактики ВИЧ-инфекции в Казахстане: автореф. доктор. дисс... Алматы, 1999. – 44с.
- 24 Умбетпаев А.Т. Моделирование и прогнозирование ВИЧ-инфекции в Казахстане: автореф. канд. диссер... Алматы, 2004. – 25с.

#### **Т.Ф. БАЛАБАЕВ**

АИТВ-ІНДЕТІН ҮЛГІЛЕУ ЖӘНЕ БОЛЖАУ: ӘДІСТЕМЕСІ ЖӘНЕ КЕЛЕШЕГІ

**Түйін:** Жұмыста шетелдік және отандық авторлардың АИТВ-індетін үлгілеудегі және болжаудағы зерттеулерінің нәтижелері ұсынылған. АИТВ-індетін болжауға қолданылатын математикалық әдістердің көптеген әртүрлі әдістемелік тәсілдері бар екені атап өтілген. Қазақстандағы АИТВ-індетіне қарсы әрекет үшін АИТВ-індетіндегі эпидемиологиялық жағдайды болжау-аналитикалық бағалау ұлттық үлгісін өңдеп және енгізу қажет.

**Түйінді сөздер:** болжау, үлгілеу, АИТВ-жұқпасы, экстраполяция.

#### **T.F. BALABAYEV**

MODELING AND FORECASTING OF HIV-INFECTION: METHODOLOGY AND PERSPECTIVES

**Resume:** There are results of foreign and national researches on HIV infection modeling and forecasting presented in the article. A lot of methodological approaches on mathematical methods using in HIV morbidity forecasting are in the world. In this case national model of forecasting and analysis for HIV infection epidemiological situation assessment will be good instrument for prevention programs in Kazakhstan.

**Keywords:** forecasting, modeling, HIV infection, extrapolation.