

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРИ В КЫРГЫЗСТАНЕ

Г.С. Китарова

Предлагается использование математической модели в описании математическими закономерностями процесса распространения кори в популяции.

*Ключевые слова:* математическое моделирование; корь.

В Кыргызстане впервые был применен метод математического моделирования – динамическая модель в прогнозировании заболеваемости корью при различных условиях охвата иммунизацией. Исследование проводилось по методу, разработанному К.К. Авиловым при прогнозировании заболевания туберкулезом органов дыхания. С использованием этой модели были произведены расчеты и приведены данные, сопоставляющие затраты и экономическую эффективность программ иммунопрофилактики [1, 2]. Исследование было проведено Республиканским центром развития здравоохранения и информационных технологий (РЦРЗиИТ) при поддержке Глобального альянса по вакцинации и иммунизации (ГАВИ) в рамках заявки Министерства здравоохранения Кыргызской Республики (приказ МЗ КР от 3 августа 2009 года № 575). Под руководством и.о. министра С.Т. Абдикаримова над этой проблемой были задействованы ученые различных стран, в том числе К.К. Авилов, В.В. Власов, С.Л. Плавинский.

Основа математического моделирования определена дифференциальными уравнениями (1), которые включают в себя популяцию населения, количество чувствительных, вакцинированных, болеющих и переболевших корью, скорость рождения, эффективность вакцинации, потерю иммунитета, индекс контагиозности, длительность заболевания и др.

Величина индекса контагиозности достаточно специфична для отдельных инфекционных болезней и во многом определяет выбор и объемы мероприятий, проводимых в эпидемических очагах с целью их локализации и ликвидации [3].

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = (1-v)B + \gamma V(t) - \left( \frac{\lambda I(t)}{N(t)} + \mu_s \right) S(t) \\ \frac{dV(t)}{dt} = vB - (\gamma + \mu_v) V(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} = \frac{\lambda I(t) S(t)}{N(t)} - \mu_i I(t) - \frac{I(t)}{D} \\ \frac{dR(t)}{dt} = \frac{I(t)}{D} - \mu_r R(t) \end{cases} \quad \begin{cases} \mu_s = \mu_v = \mu_r = \frac{M_{\text{обш.}}}{N} \\ \mu_i = \frac{M_{\text{обш.}}}{N} + 0,1095 \\ N = S + V + I + R \end{cases} \quad (1)$$

**Методы исследования.**

1. Были собраны и проанализированы данные и отчеты Республиканского центра иммунопрофилактики, Республиканского медико-информационного центра, Департамента государственного санитарного эпидемиологического надзора, Республиканской клинической инфекционной больницы, Национального статистического комитета.

2. Статистическую обработку материала проводили в Республиканском центре развития здравоохранения и информационных технологий методом вариационной статистики с помощью компьютерных программных пакетов Statlab и Microsoft Excel (Г.С. Китарова – д.м.н., директор центра; Б.К. Барыктабасова – к.м.н., консультант отдела доказательной медицины; Сим Н.Н. – зав. отделом мониторинга и оценки; Г.Ж. Каракеева – консультант отдела доказательной медицины). Графические иллюстрации построены при помощи компьютерных программных пакетов Microsoft Excel [4].

3. Математическое моделирование процессов проведено системным администратором отдела информационных технологий к.ф.-м.н. Е.И. Кондратьевой при участии международных консультантов-экспертов (к.ф.-м.н. К.К. Авилов, Институт вычислительной математики; д.м.н.,

Расчет количества чувствительных к кори при разном проценте охвата вакцинацией

Процент	Общая численность	Вакцинированные	Эффективно вакцинированные	Инфицированные	Резистентные	Чувствительные
98	5276100	91414	66733	2	5150006	34677
50	5276100	27355	19970	98736	2559299	2590709
0	5276100	0	0	558036	1279650	3438414

проф. В.В. Власов – Президент общества специалистов доказательной медицины; д.м.н., проф. С.Л. Плавинский, Санкт-Петербургская медицинская академия).

**Результаты исследования.** Клинически выраженными формами кори переболевает практически 100 % лиц, общавшихся с больным (индекс контагиозности кори достигает 0,98).

Простой расчет по статистической модели закрытой популяции, без учета миграции населения показал, что при разном проценте охвата вакцинацией число инфицированных возрастает в десятки тысяч раз (см. таблицу).

Так, при полном отсутствии вакцинации число инфицированных достигло бы числа около 560 тыс. человек (рис. 1).

Финансирование Национальной программы “Иммунопрофилактика 2006–2010 гг.” (в долл. США) на 2009 г. составило 1 484 481 долл. В переводе на сомы эта сумма составляет 65 049 957, 42 сом., из них затраты, связанные с коревой вакциной, составили около 12 000 000 сом., что в 22 раза меньше, чем сумма, затраченная на лечение больных корью людей – 262 490 643,0 сом. в год [2].

В экономическом плане потери, связанные с диагностикой и лечением, при 50%-ном охвате вакцинацией и числе инфицированных 98 736 чел., составили бы (из расчета стоимос-

ти курса лечения одного больного, в зависимости от тяжести состояния в 2009 г.):

- 63 % с тяжелой формой (по данным РКИБ), стоимость курса лечения – 4078 сом., что в общей сумме за год составляет 253 666 607,0 сом.
- 32 % средней степени тяжести, цена курса – 266 сом., что в общей сумме за год составляет 8 404 408,0 сом.
- 5 % легкой степени тяжести, цена одного курса – 85 сом., что в общей сумме за год составляет 419 628,0 сом. (рис. 2).

Итого на лечение 98 736 больных корью было бы затрачено 262 490 643,0 сом. в год.

Затраты на лечение больных при условии отсутствия вакцинации были бы соответственно:

- 90 % с тяжелой формой, цена одного пролеченного случая составила 4078 сом., в общей сумме за год – 2 048 103 727,0 сом.
- 10 % средней степени тяжести, цена одного курса лечения составила 266 сом., в общей сумме за год – 14 843 758,0 сом.

В данном случае легкая степень тяжести отсутствует, так как в основном вакцинированные люди переносят корь в легкой степени (по данным РЦИ). Кроме того, следует учесть, что в 30 % тяжелых форм болезнь заканчивается летальным исходом (по данным РКИБ). В абсолютных числах это будет 150 670 человек.

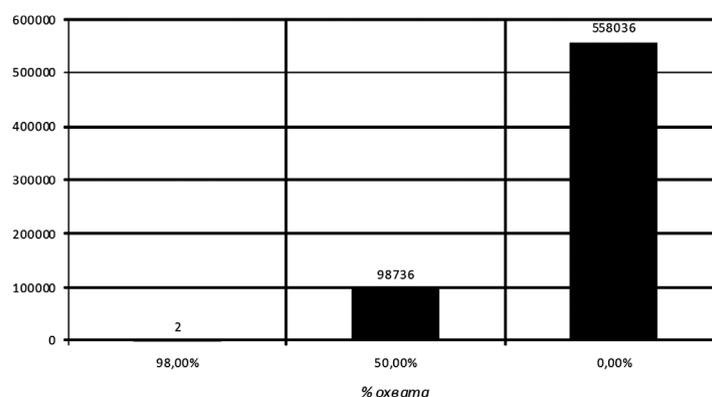


Рис. 1. Зависимость инфицированных индивидуумов от процента охвата вакцинацией

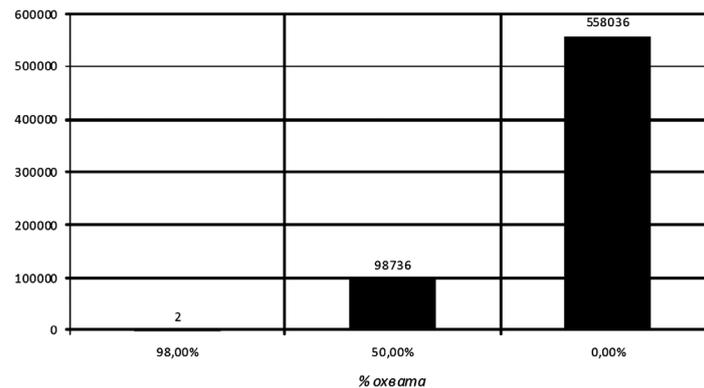


Рис. 2. Затраты на лечение по степеням тяжести (по ценам 2009 г.)

Итого на лечение 558 036 больных корью было бы затрачено 2 062 947 485,0 сом. в год.

Структура степени тяжести заболевания корью взята из данных РКИБ за 2007 г. во время вакцинации [5].

В 2009 г. зарегистрированы два случая заболевания корью, затраты на лечение двух больных составили 8 157,00 сом.

В данном исследовании теоретическая модель описывает возможное развитие событий при условии снижения процента охвата прививками хотя бы наполовину или вовсе при полном отсутствии вакцинации.

Для более глубокого изучения других аспектов эпидемиологического процесса кори в Кыргызстане путем математического моделирования, необходимы данные учета возрастного состава, материнского и коллективного иммунитета, а также процент охвата прививками на протяжении последних десятилетий и данные серологических исследований. Кроме этого, необходимы многочисленные демографические (численность населения, смертность), эпидемиологические (заболеваемость, охват вакцинацией, эффективность мероприятия), иммунологические (активность препарата), клинические (частота осложнений, тяжесть течения, длительность госпитализации, летальность) и стоимостные показатели (стоимость вакцинации, затраты на лечение острого случая и осложнений).

В рамках данного исследования возможности получения адекватных качественных данных за необходимое количество лет были ограниченными, и исследователи были вынуждены ограничиться расчетами на основании доступных данных.

**Выводы и результаты.** Математическое исследование проводилось в рамках исследования “Оценка экономической эффективности иммунопрофилактики в Кыргызской Республике”

(приказ МЗ КР № 575 от 3 августа 2009 года). В целом исследование претендует на роль обзорного, оценочного проблемно-ориентированного исследования для привлечения внимания заинтересованных сторон к улучшению качества службы иммунопрофилактики в Кыргызской Республике.

Полученные данные сопоставимы с международной практикой и рекомендуются как опыт Кыргызстана в данной области.

Результаты данного исследования были неоднократно обсуждены заинтересованными сторонами на круглых столах и включены в отчеты Министерства здравоохранения.

#### Литература

1. *Авилов К.К.* Математическое моделирование заболеваемости туберкулезом органов дыхания на территории России и оценка эффективности противотуберкулезных мероприятий: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2007. 25 с.
2. *Авилов К.К., Романюха А.А.* Математические модели распространения и контроля туберкулеза // Математическая биология и биоинформатика. 2007. Т. 2. № 2. С. 188–318.
3. *Андерсон Р., Мэй Р.* Инфекционные болезни человека – динамика и контроль. М.: Научный мир, 2004. 458 с.
4. *Боровиков В.П., Боровиков И.П.* Statistica®. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows®. М., 1998. 592 с.
5. *Шаханина И.Л., Радута О.И., Осипова Л.А., Приказчикова Г.С.* Экономическая эффективность вакцинопрофилактики: методика оценки // Эпидемиология и инфекционные болезни. 2004. № 3. С. 12–16.
6. *Wellington K., Goa K.L.* Measles, mumps, rubella vaccine (Priorix; GSK-MMR): a review of its use in the prevention of measles, mumps and rubella. *Drugs*, 2003; 63(19):2107–26.