

УДК 575+616+51
ББК 28.074в6+51.9в6
Р69

Серия основана в 2009 г.

Романюха А. А.

Р69 Математические модели в иммунологии и эпидемиологии инфекционных заболеваний / А. А. Романюха. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. — 293 с. : ил. - (Математическое моделирование).

ISBN 978-5-94774-900-7

Монография посвящена построению и исследованию математических моделей иммунологических и эпидемиологических процессов при инфекционных заболеваниях. Рассмотрены явления обучения, адаптации и старения иммунной системы, формирования иммунодефицитов, их зависимости от инфекционной нагрузки и других факторов внешней среды. Описан метод оценки качества работы иммунитета. Рассматриваются связи эпидемиологических и демографических процессов. Модели построены на основе современных знаний о патогенезе и эпидемиологии таких заболеваний как грипп, пневмония, туберкулез.

Для специалистов в области прикладной математики, иммунологии и эпидемиологии, а также для студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

**УДК 575+616+51
ББК 28.074в6+51.9в6**

Первый тираж издания осуществлен при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований по проекту № 08-01-07087

Научное издание

Серия: «Математическое моделирование»

Романюха Алексей Алексеевич

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В ИММУНОЛОГИИ И ЭПИДЕМИОЛОГИИ ИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Ведущий редактор *И. А. Маховая*. Редактор *А. С. Попов*

Художник *Н. А. Новак*

Технический редактор *Е. В. Деникова*. Корректор *Н. Н. Ектова*

Оригинал-макет подготовлен *Е. Г. Излевой* в пакете IM[^]X 2e

Подписано в печать 27.10.11. Формат 70х 100/16.

Усл. печ. л. 24,05. Тираж 200 экз. Заказ 1332.

Издательство «БИНОМ. Лаборатория знаний»

Отпечатано в ООО ПФ «Полиграфист»,
160001, г. Вологда, ул. Челюскинцев, 3.

ISBN 978-5-94774-900-7

© БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Список литературы	8
Глава 1. Введение в иммунологию инфекционных заболеваний	9
1.1. Происхождение иммунной системы	9
1.2. Микроорганизмы	12
1.3. Инфекционные болезни	15
1.3.1. Механизмы повреждения тканей при инфекционных заболеваниях	19
1.4. Механизмы иммунитета	21
1.5. Структурно-функциональная организация иммунной системы	29
1.6. Системы противоинфекционной защиты	32
Список литературы	36
Глава 2. Моделирование инфекционных заболеваний	38
2.1. Введение	38
2.1.1. Оценка тяжести заболевания	39
2.1.2. Описание динамики болезни	43
2.2. Моделирование инфекционных заболеваний	45
2.2.1. Базовая математическая модель инфекционного заболевания	47
2.2.2. Математическая модель противовирусного иммунного ответа	49
2.2.3. Математическая модель вирусного гепатита В	54
2.2.4. Математическая модель острой респираторной инфек- ции, вызванной вирусами гриппа А	57
2.2.5. Математическая модель бактериальной пневмонии	59
2.3. Заключение	71
Список литературы	73
Дополнительная литература	75

Глава 3. Старение иммунитета. Анализ данных и математическое моделирование.	77
3.1. Введение.	77
3.2. Старение иммунной системы.	79
3.3. Математическая модель возрастных изменений в популяции периферических Т-лимфоцитов.	86
3.4. Результаты численных экспериментов с моделью возрастных изменений Т-лимфоцитов.	91
3.5. ВИЧ-инфекция и старение иммунной системы.	99
3.5.1. Моделирование ускоренного старения иммунной системы при ВИЧ-инфекции.	101
3.6. Моделирование динамики специфического иммунитета при длительной антигенной нагрузке.	104
3.6.1. Физическая модель явления.	104
3.6.2. Математическая модель динамики противотуберкулезного иммунитета.	110
3.7. Старение иммунной системы и воспаление.	117
3.8. Заключение.	120
Список литературы.	123
Глава 4. Старение иммунитета и демографические процессы.	129
4.1. Введение.	129
4.2. Математическая модель возрастной динамики риска гибели от инфекционных заболеваний.	130
4.3. Моделирование зависимости скорости иммунного ответа от концентраций наивных лимфоцитов и клеток памяти и их репликативного потенциала.	135
4.4. Распределение уровня резистентности. Функция риска гибели в зависимости от тяжести заболевания.	139
4.5. Анализ и моделирование возрастной динамики смертности от респираторных инфекций.	141
4.6. Моделирование ¹ возрастной динамики смертности от инфекционных заболеваний в неоднородных популяциях.	146
4.7. Моделирование возрастной динамики смертности от пневмонии в России с 1965 по 1990 гг.	147
4.8. Анализ и моделирование векового тренда смертности от респираторных инфекций.	152
4.9. Анализ и моделирование смертности от респираторных инфекций в итальянских когортах, родившихся в период с 1873 по 1895 г.	159
4.10. Заключение.	163
Список литературы.	164

Глава 5. Модели эпидемических процессов инфекционных заболеваний	169
5.1. Введение	169
5.2. Эпидемиология туберкулеза в России: математическая модель и анализ данных	172
5.2.1. Построение математической модели эпидемиологии туберкулеза	175
5.2.2. Анализ данных и оценка параметров	182
5.2.3. Анализ данных и вычислительные эксперименты	191
5.3. Метод оценки риска инфицирования ВИЧ на основе факторов социальной дезадаптации	197
5.3.1. Построение индекса силы инфекции ВИЧ без учета региональных особенностей	199
5.3.2. Учет региональных особенностей распространения ВИЧ	204
5.3.3. Математическая модель динамики численности групп населения с повышенным риском инфицирования ВИЧ	209
5.4. Анализ данных по эпидемиологии острых респираторных заболеваний	211
5.4.1. Вклад различных сезонов в заболеваемость, анализ корреляций	215
5.4.2. Влияние температуры воздуха на заболеваемость ОРЗ	218
5.4.3. Математическая модель влияния температуры воздуха на распространение респираторных инфекций	221
5.5. Заключение	222
Список литературы	223
Глава 6. Математические модели и методы оценки иммунокомпетентности и адаптация иммунной системы	227
6.1. Введение	227
6.2. Цена иммунной защиты	228
6.3. Критерий эффективности иммунной защиты	231
6.4. Адаптация иммунной системы	236
6.5. Энергетическая цена иммунной защиты	239
6.6. Энергетическая цена иммунной защиты и возраст	241
6.7. Иммунный надзор и гомеостаз	245
6.8. Заключение	247
Список литературы	247
Глава 7. Моделирование адаптации иммунной системы	250
7.1. Введение	250
7.2. Математическая модель противоинойфекционной защиты (M1)	254
7.3. Оценка расхода энергии на противоинойфекционную защиту организма	258
7.4. Энергетическая цена и приспособленность	266

7.5. Модель использования энергии (M2)	267
7.5.1. Алгоритм использования энергии	268
7.6. Модель распространения патогена в популяции (M3).	271
7.7. Результаты численных экспериментов	275
7.8. Заключение	284
Список литературы	285
Предметный указатель	287