

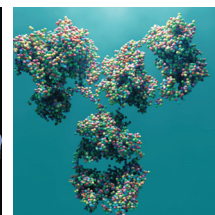
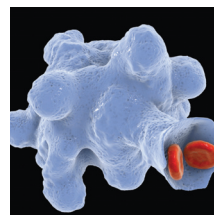
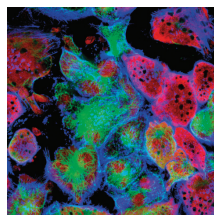
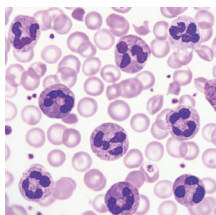


# АТЛАС

Фредерик Гро, Сильви Фурнель, Самюэль Льежуа,  
Даниэль Ришар, Полин Сулас-Спрауэль

# ИММУНОЛОГИИ

ОТ РАСПОЗНАВАНИЯ АНТИГЕНА ДО ИММУНОТЕРАПИИ



МЕДПРОФ

Москва 2023

УДК 576.8:616  
ББК 52.5  
А92

Originally published in France as:  
Atlas d'immunologie. De la détection du danger à l'immunothérapie  
By Frédéric GROS, Sylvie FOURNEL, Samuel LIEGEOIS, Daniel RICHARD and  
Pauline SOULAS-SPRAUEL  
© Dunod 2018, Malakoff

A92 **Атлас** иммунологии. От распознавания антигена до иммунотерапии / Фредерик Гро, Сильви Фурнель, Самюэль Льежуа, Даниэль Ришар, Полин Сулас-Спрауэль ; [перевод с французского Д. В. Бондаревского]. — Москва : Эксмо, 2023. — 192 с. : ил. — (Цветные иллюстрированные медицинские атласы).

ISBN 978-5-04-173902-7

В этой роскошно иллюстрированной книге детально представлены фундаментальные основы устройства и работы иммунной системы. Самые современные представления даны в историческом контексте, что позволяет проследить развитие понятий о системе защиты организма, врожденном и адаптивном иммунитете; представить, как врожденный иммунитет инициирует адаптивный иммунитет.

Регуляторные и эффекторные механизмы иммунной системы, участвующие в борьбе с инфекционными заболеваниями, изложены в зависимости от возбудителей: бактерий, вирусов, грибов, гельминтов, одноклеточных эукариотов.

Клеточные и молекулярные аспекты иммунитета с учетом новейших научных данных даны очень подробно, наглядно, со множеством понятных схем и иллюстраций. Отдельный интерес для врачей и студентов-медиков представляет описание патологий иммунной системы, а также основные стратегии их терапии. Кроме того, изложены современные представления об иммунотерапии, включая механизмы действия (как геномные, так и не геномные), и примеры назначения применяемых лекарственных препаратов.

Эта книга совершенно необходима всем, кто хочет получить максимально полные современные знания о сложной, многоуровневой, прекрасной и совершенно устроенной системе иммунной защиты организма или обновить свои представления в этой быстро развивающейся медицинской области, находящей яркое практическое применение для лечения многих заболеваний.

**УДК 576.8:616**  
**ББК 52.5**

ISBN 978-5-04-173902-7

© Бондаревский Д.В., перевод на русский язык, 2021  
© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2023

# ПРЕДИСЛОВИЕ

В первые годы Пелопоннесской войны, которая по своим масштабам была для древнегреческой цивилизации таким же огромным социальным потрясением, как Первая мировая война в Европе в начале XX века, в Афинах начался мор. Болезнь настигла и афинского историка и стратега Фукидида. Он описал весь ее ужас, отметив, что «всякое человеческое искусство было бессильно против болезни; сколько люди ни молились в храмах, сколько ни обращались к оракулам и тому подобным средствам, все было бесполезно; наконец, одолеваемые бедствием люди оставили и это». Но автор добавил, что «больше сострадания к умирающим и больным обнаруживали оправившиеся от болезни, потому что они сами испытали ее раньше и были уже в безопасности: вторично болезнь, по крайней мере со смертельным исходом, не постигала никого». Текст Фукидида, написанный к концу V века до нашей эры, можно рассматривать как предтечу того, что принято называть «иммунологией». Наблюдения афинского историка были удивительно точными. Но почему человечеству понадобилось около 2300 лет, чтобы понять механизмы, скрывающиеся в подобных болезнях и индукции сопротивления у некоторых людей? И это тем более удивительно, что страшные эпидемии сменяли друг друга на протяжении двух тысячелетий: например, Антонинова чума, опустошившая Рим в III веке нашей эры, и особенно Юстинианова чума, свирепствовавшая в VI–VIII веках и, по всей вероятности, унесшая жизни половины населения Римской империи. Затем, начиная с середины XIV века, им на смену пришла страшная черная смерть (Black Death), повторные вспышки которой продолжались в течение двух-трех веков. Некоторые историки полагают, что она чуть было не привела к гибели Homo sapiens на всей нашей планете.

Наряду с этими одновременно впечатляющими и драматическими событиями нашим предкам пришлось столкнуться с рядом инфекционных болезней, значительно сокращавших продолжительность жизни — в среднем до 25 лет. Такая ситуация оставалась без существенных изменений с античных времен до середины XIX века. Потом произошла настоящая революция, которая менее чем за треть века увеличила продолжительность жизни почти втрое: в среднем люди стали жить около 75 лет. В то же время эта революция резко остановила эпидемии, а в некоторых случаях даже полностью исключила их. Многим читателям нашей книги хорошо известно, что эта революция стала возможной благодаря выдающимся научным достижениям в области микробиологии и иммунологии, которые, в свою очередь, были обусловлены новым экспериментальным подходом в биологии и медицине. Нет никаких сомнений в том, что свою роль в этом научном прорыве сыграли и продолжают играть открытия в физике и химии: они предшествовали им и во многих случаях послужили основой для дальнейшего развития иммунологии.

Итак, сейчас продолжительность жизни в три раза превышает наших предков эпохи Древнего мира или времени Наполеона. В большинстве регионов мира дети больше не болеют инфекционными заболеваниями. Тем не менее человечество все еще сталкивается с серьезными медицинскими проблемами, с которыми борются ученые и клиницисты, занимающиеся биомедициной. Новые микроорганизмы продолжают расширять территорию своего первоначального обитания и переходят от обезьян, летучих мышей или перелетных птиц к человеку. И таких примеров много. Можно на полном основании полагать, что концептуальные и методологические подходы, позволившие сократить для человечества бремя инфекционных заболеваний недавнего прошлого, в конечном счете позволят победить и этих новых агрессоров. Но все далеко не так просто: самая крупная победа медицины, заключающаяся в увеличении продолжительности жизни, опосредованно привела к тому, что на протяжении нескольких десятилетий миллионы людей, которые раньше редко доживали до почтенного возраста, подвержены таким, как правило неинфекционным, заболеваниям, как рак, нейродегенеративные расстройства, нарушения метаболизма или болезни сердечно-сосудистой системы. Нужно уточнить, что здесь речь идет скорее не о новых патологиях, а о тех заболеваниях, на которые меньше обращали внимания в тех условиях, когда общая смертность была обусловлена прежде всего инфекциями.

Между тем недавно достигнутые многообещающие успехи в этих областях дают основания испытывать разумный оптимизм. Приведу один пример: в те времена, когда я учился в университете, методы лечения рака ограничивались хирургией (со времен Античности), радиотерапией (с начала XX века) и химиотерапией (еще более современный метод). Об иммунотерапии никогда не говорили и предполагали, что раковые клетки не идентифицировались иммунной системой. Сегодня мы знаем, что в большинстве случаев это не так. На самом деле впечатляющие успехи были достигнуты в последние годы благодаря методу так называемой противораковой иммунотерапии. Тем, кто усомнился бы в значимости этих результатов под предлогом, что на настоящий момент они эффективны только для некоторых видов рака и даже в этом случае только для отдельных пациентов, я ответил бы, что для искоренения основных инфекций человечеству понадобилось более 2300 лет после первых наблюдений

Фукидида. Я убежден в том, что благодаря накопленным за последние годы знаниям и с помощью методов молекулярной генетики будет достаточно нескольких десятилетий, чтобы добиться существенного прорыва в лечении онкологических заболеваний. Более того, недавние результаты исследований говорят о том, что нейродегенеративные заболевания также отчасти обусловлены состоянием иммунной системы. Эти наблюдения в конечном счете могли бы привести к выявлению новых терапевтических целей.

Книга, которую вы держите сейчас в руках, очень полезна и своевременна. Иммунология — это наука, совершившая за последнее столетие огромный скачок. Я верю в то, что такие же решающие успехи станут возможными и в ближайшие годы, особенно на стыке иммунологии, микробиологии и медицины.

Я рекомендую молодым (и менее молодым) людям внимательно прочитать эту книгу и помнить о необходимости объяснять простым (но не примитивным) языком своим близким и многочисленным друзьям впечатляющие достижения нашей дисциплины, пытаясь увлечь их этой областью знаний. И прежде всего дать им понять, что одна только вакцинация позволила спасти около полутора миллиардов человеческих жизней. Но нам все еще не хватает многих вакцин, которые требуют серьезного изучения. Наконец, я рекомендую читателям объяснять нашим согражданам, почему для эффективной вакцинации необходимы адъюванты<sup>1</sup>, особенно у маленьких детей и пожилых людей. Ответы, которые вы, дорогие читатели, наверняка знаете, также находятся в этой книге, которая является настоящим сокровищем.

Мне хотелось бы, чтобы «Атлас иммунологии» стал настоящим бестселлером и оказал реальное влияние на наше общество, чтобы оно поверило в нашу дисциплину, которая заслуживает этого по праву.

*Французский иммунолог и лауреат Нобелевской премии  
по физиологии и медицине, иностранный член Российской академии наук  
Жюль Офман*

---

<sup>1</sup> Адъювант — комплекс веществ, используемый для усиления иммунного ответа при введении одновременно с иммуногеном.

# Содержание

<b>Предисловие</b> . . . . .	5
<b>Введение</b> . . . . .	11
<b>Список аббревиатур</b> . . . . .	12
<b>1. Иммунология: концепты в постоянной эволюции</b>	
Карточка 1 Представление об иммунитете в мире живой природы . . . . .	19
Карточка 2 Вакцинация и возникновение представления об иммунитете . . . . .	21
Карточка 3 Гуморальный иммунитет . . . . .	23
Карточка 4 Клеточный иммунитет . . . . .	25
Карточка 5 Врожденный иммунитет — адаптивный иммунитет: два способа распознавания и уничтожения патогенов . . . . .	27
Карточка 6 Молекулярные сигналы, распознанные адаптивным иммунитетом: понятия об антигенах и иммуногенах . . . . .	29
Карточка 7 Презентация антигена — на границе между врожденным и адаптивным иммунитетом . . . . .	31
<b>2. Иммунная система и борьба с инфекционными патологиями</b>	
Карточка 8 Инфекционные заболевания на протяжении эволюции человечества . . . . .	35
Карточка 9 Микробиота и иммунная система . . . . .	37
<b>Ответы на внеклеточные зубактерии</b>	
Карточка 10 Патогенность внеклеточных бактерий . . . . .	39
Карточка 11 Обнаружение внеклеточных бактерий врожденным иммунитетом . . . . .	41
Карточка 12 Эффекторный механизмы борьбы с внеклеточными бактериями . . . . .	43
<b>Ответы на внутриклеточные зубактерии</b>	
Карточка 13 Патогенность внутриклеточных бактерий . . . . .	45
Карточка 14 Распознавание внутриклеточных бактерий врожденным иммунитетом . . . . .	47
Карточка 15 Эффекторный механизмы, задействованные для борьбы с внутриклеточными бактериями . . . . .	49
<b>Противовирусные ответы</b>	
Карточка 16 Патогенность вирусов . . . . .	51
Карточка 17 Распознавание вирусов врожденным иммунитетом . . . . .	53
Карточка 18 Эффекторный механизмы противовирусного иммунитета . . . . .	55
<b>Противогрибковый ответ</b>	
Карточка 19 Патогенность грибов . . . . .	57

Карточка 20	Распознавание грибов . . . . .	59
Карточка 21	Противогрибковый иммунный ответ . . . . .	61
<b>Ответ на крупных внеклеточных паразитов</b>		
Карточка 22	Гельминтозы . . . . .	63
Карточка 23	Иммунный ответ при гельминтозах . . . . .	65
<b>Иммунные ответы на одноклеточные эукариоты</b>		
Карточка 24	Патогенность одноклеточных эукариотов . . . . .	67
Карточка 25	Разнообразие иммунных ответов на одноклеточные эукариоты . . . . .	69

### 3. Индукция эффекторных механизмов

#### Врожденный иммунитет

##### *Распознавание опасности врожденным иммунитетом*

Карточка 26	Врожденный иммунитет беспозвоночных . . . . .	73
Карточка 27	МАМР и DAMP . . . . .	75
Карточка 28	Рецепторы опознавания паттерна (PRRs) — рецепторы врожденного иммунитета . . . . .	77

##### *Клетки врожденного иммунитета*

Карточка 29	Моноциты и макрофаги . . . . .	79
Карточка 30	Гранулоциты и мастоциты . . . . .	81
Карточка 31	Лимфоциты врожденного иммунитета . . . . .	83

##### *Эффекторные механизмы врожденного иммунитета*

Карточка 32	Острая воспалительная реакция . . . . .	85
Карточка 33	Система комплемента . . . . .	87
Карточка 34	Фагоцитоз . . . . .	89
Карточка 35	Воспалительная активность гранулоцитов . . . . .	91

##### *Индукция адаптивного иммунного ответа врожденным иммунитетом*

Карточка 36	Дендритные клетки . . . . .	93
Карточка 37	Созревание дендритных клеток . . . . .	95
Карточка 38	Способы переработки антигена (процессинг) . . . . .	97
Карточка 39	Гены главного комплекса гистосовместимости . . . . .	99

#### Адаптивный иммунитет

Карточка 40	Адаптивный иммунитет у бесчелюстных . . . . .	101
-------------	---	-----

##### *Развитие клеток адаптивного иммунитета*

Карточка 41	В-лимфоциты и Т-лимфоциты: идентичная морфология, но различные рецепторы . . . . .	103
Карточка 42	Приобретение Т-клеточных и В-клеточных рецепторов (TCR и BCR) путем VDJ-рекомбинации . . . . .	105
Карточка 43	Развитие функционально зрелых и неаутореактивных лимфоцитов . . . . .	107

##### *Специфика распознавания приобретенного иммунитета*

Карточка 44	Активация Т-лимфоцитов CD4 <sup>+</sup> : важнейший этап, нуждающийся в поддержке врожденного иммунитета . . . . .	109
Карточка 45	Поляризация ответа Т CD4 <sup>+</sup> . . . . .	111

### *Индукция эффекторных механизмов адаптивного иммунитета*

Карточка 46	Поддержка эффекторных механизмов врожденного иммунитета	113
Карточка 47	Индукция цитотоксического клеточного иммунного ответа: активация Т- лимфоцитов CD8 <sup>+</sup>	115
Карточка 48	Индукция гуморального иммунного ответа: активация В-лимфоцитов	117
Карточка 49	Дифференцировка В-лимфоцитов в герминативных центрах	119
Карточка 50	Эффекторные механизмы антител	121
Карточка 51	Клеточная память лимфоцитов	123
Карточка 52	Регуляторные Т-лимфоциты	125

## **4. Патологии иммунной системы**

### **Иммунодефициты**

Карточка 53	Первичные иммунодефициты	129
Карточка 54	Вторичные (приобретенные) иммунодефициты	131

### **Гиперчувствительность против «не своих» молекул или аллергии**

Карточка 55	Гиперчувствительность, обусловленная иммуноглобулинами Е (IgE)	133
Карточка 56	Гиперчувствительность, обусловленная иммуноглобулинами G (IgG)	135
Карточка 57	Гиперчувствительность, обусловленная Т-лимфоцитами	137
Карточка 58	Генетические и экологические факторы развития аллергии	139

### **Аутоиммунность и аутовоспаление**

Карточка 59	Толерантность Т-клеток	141
Карточка 60	Толерантность В-клеток	143
Карточка 61	Аутоиммунные заболевания	145
Карточка 62	Генетические факторы аутоиммунных заболеваний	147
Карточка 63	Окружающие факторы и аутоиммунные заболевания	149
Карточка 64	Эффекторные механизмы аутоиммунных заболеваний	151
Карточка 65	Аутовоспалительные заболевания	153

### **Аутоиммунность и аутовоспаление**

Карточка 66	Иммунологический надзор опухолей	155
Карточка 67	Ускользание опухолей от иммунологического надзора	157

## **5. Контроль иммунной системы и иммунотерапия**

### **Терапия, направленная на иммунную систему**

Карточка 68	Противовоспалительное лечение	161
Карточка 69	Иммуносупрессивная терапия	163
Карточка 70	Терапия моноклональными телами	165

### **Трансплантация**

Карточка 71	Механизмы трансплантационного иммунитета	167
Карточка 72	Трансплантация гемопоэтических стволовых клеток и связанная с ней генная терапия	169
Карточка 73	Болезнь «трансплантат против хозяина»	171

## Вакцинация

Карточка 74	Принцип вакцинации .....	173
Карточка 75	Состав вакцин .....	175
Карточка 76	Вакцины и общественное здравоохранение .....	177
Карточка 77	Иммунная терапия опухолей .....	179
Карточка 78	Будущее иммунологии .....	181

<b>Библиография</b> .....	183
---------------------------	-----

<b>Алфавитный указатель</b> .....	185
-----------------------------------	-----

<b>Копирайты</b> .....	189
------------------------	-----

# Введение

За последние 50 лет основные концепции иммунологии претерпели значительную эволюцию: от иммунологии, основанной в основном на дискриминации «свое» и «не свое», до распознавания опасности, инициируемой клетками врожденного иммунитета и позволяющей активировать адаптивный иммунитет ко множеству антигенов. Эта новая парадигма заставила иммунологов пересмотреть свой взгляд на иммунный ответ на инфекции и опухоли, а также изучить механизмы различных заболеваний в свете этих новых концепций. Также были предложены новые формы иммунотерапии.

Основываясь на исторических аргументах, эта книга представляет в богато иллюстрированной манере фундаментальные механизмы иммунной системы, как они понимаются в настоящее время. Исторические аргументы позволяют представить концепты в постоянном развитии. Освещаются основные понятия о врожденном и адаптивном иммунитете, а также то, как врожденный иммунитет инициирует адаптивный иммунитет.

Регуляторные и эффекторные механизмы иммунной системы, участвующие в борьбе с инфекционными заболеваниями, изложены в зависимости от возбудителей этих патологий — бактерий, вирусов, грибов, гельминтов, одноклеточных эукариотов.

Подробным образом, с учетом новейших научных данных, представлены клеточные и молекулярные аспекты.

Также описаны патологии иммунной системы, как и основные терапевтические подходы. Наконец, изложены современные стратегии иммунотерапии.

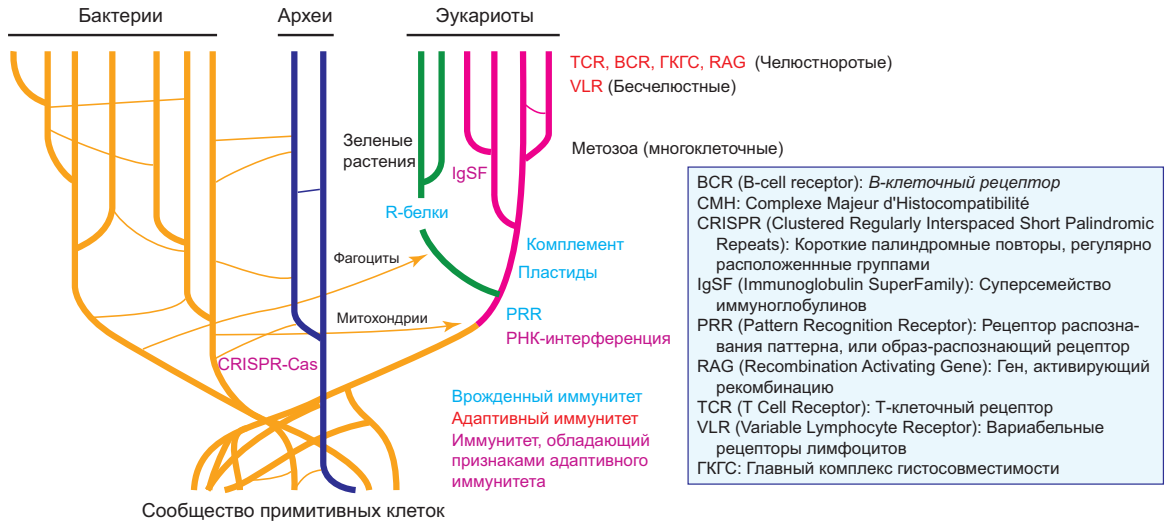
Эта книга позволит студентам естественнонаучных факультетов университетов, медицинских и фармацевтических вузов обновить свои знания о новых концепциях иммунологии.



часть

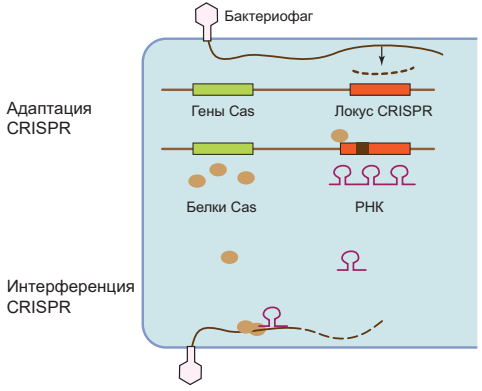
1

**Иммунология:  
концепты  
в постоянной  
эволюции**



### Филогенетическое дерево живого мира с обозначением основных элементов иммунной системы

У животных и растений появляются рецепторы врожденного иммунитета (PRR). У растений R-белки, белки резистентности, также участвуют в распознавании аггессоров. Фагоцитарные клетки и комплемент появляются соответственно у губок и кишечнополостных (актинии, медузы). Можно полагать, что система CRISPR-Cas — форма адаптивной системы, как РНК-интерференция, а также молекулы суперсемейства иммуноглобулинов (IgSF), обнаруженные у членистоногих и моллюсков.

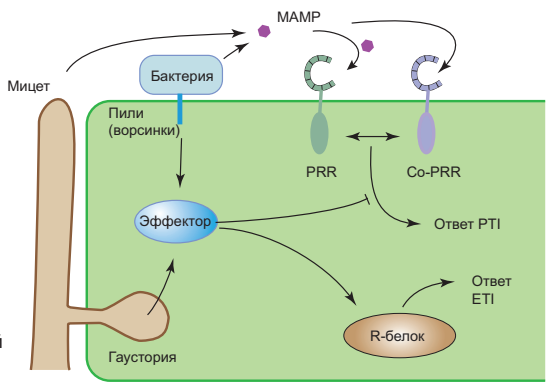


### Система CRISPR-Cas

Система CRISPR-Cas обеспечивает археям и бактериям развитие иммунной памяти против некоторых вирусов (бактериофагов). После инфицирования бактериофагом фрагменты чужеродной ДНК встраиваются в локус CRISPR между повторяющимися участками с помощью протеинов Cas (этап адаптации CRISPR). Тогда локус CRISPR транскрибируется и расщепляется для формирования микро-РНК. В ходе нового инфицирования таким же бактериофагом эти РНК связываются с комплементарной последовательностью на ДНК бактериофага, а другие белки Cas расщепляют опознанную ДНК внутри сайта узнавания, разрушая таким образом чужеродную ДНК (этап интерференции CRISPR).

### Иммунная система растений

Различные патогены (грибы, бактерии, насекомые или нематоды) способны преодолевать естественные барьеры и инфицировать растительные клетки: — мембранные рецепторы, получившие название *Pattern Recognition Receptor* (PRR), могут распознавать при помощи корецепторов (со-PRR) ассоциированные с микроорганизмами молекулярные мотивы (MAMP); — другие (цитозольные) рецепторы, получившие название защитных R-белков, распознают эффекторы патогенов. Каждый из этих типов рецепторов активирует специфический ответ: PTI (*Pattern-Triggered Immunity* — паттерн-активируемый иммунитет) для PRR и ETI (*Effector-Triggered Immunity* — эффекторный иммунитет) для R-белков.



## Разнообразные системы защиты в агрессивной внешней среде

Такие разнородные организмы, как бактерии, растения или люди, обладают системами защиты, чтобы бороться с потенциальными агрессорами. Борьба за выживание каждого вида внутри общей экосистемы привела к отбору наиболее эффективных защитных механизмов, реагирующих на внедрение патогенами новых способов атаки или уклонения по отношению к защите хозяина. У некоторых организмов иммунная система также обеспечивает защиту от агрессора, которая идет изнутри, например от опухолевых клеток или клеток, трансформированных вирусами, чтобы сохранить принципиально важную для гармоничного функционирования целостность. Сохраненные механизмы обнаруживаются по гомологии у многих филогенетически далеких организмов, в то время как другие могут быть специфическими у ограниченного количества видов.

## Система CRISPR-Cas археев и бактерий

Археи и бактерии разработали защитный механизм для защиты от своих вирусных патогенов, называемый бактериофагами. «Короткие палиндромные повторы, регулярно расположенные группами» (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*) и ассоциированные с ними белки (Cas) позволяют «иммунной системе» этих организмов сохранять память о предыдущих инфекциях. Короткие вирусные последовательности экспрессируются в виде РНК и используются белками Cas для специфического воздействия на чужеродные элементы, напоминая систему РНК-интерференции, используемую эукариотами. Локус CRISPR имеют 50% известных бактерий и 90% известных архей. Эта способность влиять на определенные последовательности ДНК с помощью специфических РНК недавно была задействована для разработки новых методов редактирования генома, которые представляют большой потенциал для терапевтического применения.

## Эффективная иммунная система у растений

У растений, как и у животных, есть естественные защитные барьеры — «предиммунитет», позволяющий им блокировать большинство агрессоров благодаря следующим факторам:

- физический барьер, образованный кутикулой (она состоит в основном из кутина и воска и защищает от вредных воздействий внешней среды) и клеточной стенкой (клетковина или клетчатка);
- химический барьер, формируемый выделением алкалоидов и бактерицидными фенольными соединениями.

Однако некоторым патогенам удается преодолевать эти барьеры. Расположенные на поверхности растительной клетки рецепторы распознают структурные компоненты микроорганизмов, а также продукты распада клеточной стенки, в то время как другие рецепторы, расположенные внутри клетки (R-белки или белки резистентности), прямо или косвенно распознают эффекторы патогенов. Индуцируемые таким распознаванием ответы сопровождаются открытием ионных каналов, респираторным взрывом, изменением окислительно-восстановительного равновесия, каскадами протеинкиназы, укреплением клеточной стенки или производством антимикробных соединений. Основные сигнальные молекулы, секретируемые высшими или наземными растениями (эмбриофитами) — жасмонаты, этилен и салицилаты, — могут передавать сигналы соседним растениям. Все растительные клетки способны формировать соответствующий защитный арсенал. В отличие от животных, у растений фактически нет специальных иммунных клеток.

## Иммунная система метазоа (многоклеточные животные)

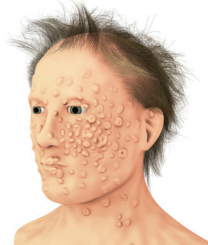
Метазоа, будучи живыми существами царства животных, обладают иммунными системами, отличающимися чрезвычайным разнообразием. В этой книге основное внимание уделяется млекопитающим, но также будет представлен и обзор иммунной системы, сформировавшейся у других представителей многоклеточных животных.

**Врач Эдвард Дженнер**

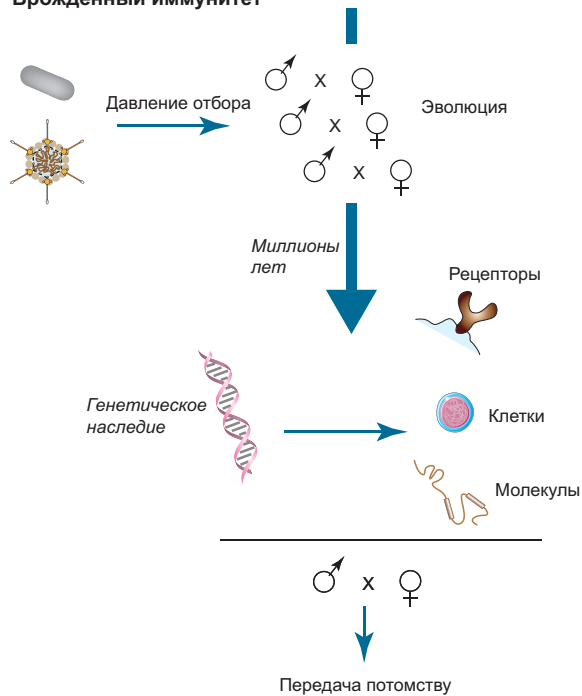
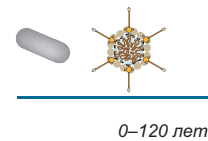
Дженнер втирал содержимое пустул коровы, зараженной оспой, восьмилетнему Джеймсу Фиппсу. Последний не заболел оспой после прививки.

**Оспа**

Мужчина, болеющий оспой.

**Пастер**

На рисунке Пастер держит в руке инструмент, который помог ему показать, что инфекционные заболевания обусловлены микроорганизмами.

**Врожденный иммунитет****Приобретенный (адаптивный) иммунитет****Инфицирование патогенными агентами в течение жизни**

Смена действующих лиц  
Память

**Понятия о врожденном и приобретенном иммунитете**

Генетический материал животных кодирует рецепторы, растворимые молекулы и, в более широком смысле, клетки, участвующие в иммунитете.

Эта информация — результат селективного давления, оказываемого патогенами в ходе эволюции. Она передается потомству. Это врожденный иммунитет.

Практика вакцинации показала, что иммунная система меняется в течение жизни человека, что связано со свойством памяти.

Это изменение защищает человека на протяжении всей жизни, но не передается потомству. Это приобретенный или адаптивный иммунитет.

### Немного этимологии...

Слово «иммунитет» происходит от латинского *immunitas*, что означает «освобождение», «избавление», «неприкосновенность». Речь идет о привилегиях социальных классов, представители которых не выполняли некоторые обязанности и тем не менее оставались безнаказанными — они не платили те или иные налоги и т. п. Это понятие по-прежнему применяется в юриспруденции по отношению к некоторым людям, принадлежащим к определенным социoproфессиональным категориям или выполняющим некие функции. В биологии и медицине представление об иммунитете отражает отсутствие воздействия инфекции, вещества на биологическую систему. В историческом плане представление об иммунитете тесно связано со свойством некоторых организмов не заболеть инфекцией при повторном контакте с патогенным агентом. Это свойство было подчеркнуто практикой вакцинации.

### Эдвард Дженнер и «коровья оспа»

Оспа — это смертельное инфекционное заболевание, сопровождающееся кожной сыпью в виде пустул (пузырьков). В XVIII веке от оспы во Франции ежегодно умирали несколько десятков тысяч человек. Принято считать, что каждый второй умирал от заражения. Метод, получивший название «вариоляция» («оспопрививание»), еще в давние времена заключался во введении гноя из пустул больных оспой здоровым людям, чтобы защитить их от болезни в случае будущего заражения. Эта стратегия была основана на наблюдении, сделанном в Средние века на Востоке, в Африке, а потом и в Европе: выжившие после заражения оспой больше никогда не болели ею. Такая практика оказалась опасной, так как она подвергала людей риску развития оспы после вариоляции (в результате чего 1–2% из них умирали): она была успешно модифицирована Эдвардом Дженнером. Он заметил, что женщины, доившие коров, обладали иммунитетом к оспе, и английскому врачу пришла в голову идея вакцинировать людей содержимым пустул с похожей морфологией, поражавшей коров. Заболевание у животных, называемое «коровья оспа», фактически связано с инфицированием вирусом этого же семейства, что и натуральная оспа, но у людей оно не приводит к патологии. Так новая практика привела к появлению знакового термина, обозначающего противоинфекционный иммунитет. В следующем веке Луи Пастер, предложивший термин «вакцинация» как дань уважения Дженнеру и распространивший его на более широкий диапазон противоинфекционных профилактических мер, показал, что этот иммунитет был направлен против микроорганизмов. В дальнейшем он успешно разработал знаменитую вакцину против бешенства. Примечательно, что вакцина не только профилактическая, но и лечебная, так как помогает выздороветь пациентам, заразившимся этой болезнью. Это объясняется тем, что иммунный ответ, вызванный вакциной, успевает развиться еще до появления патологических последствий от действия вируса бешенства, для которого характерен длительный период инкубации. В результате кампании по вакцинации оспа была ликвидирована. Бешенство также в значительной степени исчезло из современной картины инфекций. Другие заболевания, такие как корь, дифтерия и полиомиелит, могут исчезнуть, если охват вакцинацией останется достаточным.

### Иммунология — это только иммунная память и вакцина?

Эффективность вакцин основана главным образом на свойстве позвоночных организмов — иммунной памяти. Эта способность к запоминанию относится к отделу, называемому адаптивным иммунитетом, то есть таким, который формируется в течение всей жизни человека. Если говорить конкретно, это значит, что в зависимости от инфекций, с которыми ему приходится сталкиваться, наш организм может изменять иммунный ответ против патогена. Сегодня нет никаких сомнений в том, что организмы животных от патогенных микроорганизмов защищает не только адаптивный иммунитет. Так, например, у беспозвоночных нет адаптивного иммунитета, но тем не менее их иммунитет эффективен. Поэтому современное представление об иммунитете определяется не только изменением на протяжении жизни нашей способности к иммунному ответу — оно также тесно связано с иммунитетом, которым биологический вид обладает с рождения и который наследуется от родителей. Это врожденный иммунитет. Впрочем, адаптивный иммунитет полностью зависит от активности врожденного. Но, в отличие от врожденного иммунитета, иммунная память людей не передается потомству.