#### ГЛАВА 2

## УЧАСТКИ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ

Иммунная система — одна из самых сложных сетей в нашем организме, поэтому неудивительно, что на самом деле нет такого понятия, как единое место для иммунной системы. Она чувствует себя как дома везде и нигде. Все тело становится полем боя, когда это необходимо. И все же есть области, где иммунная система проявляет себя особенно ярко.

#### НИМФА ЛИМФА, ИЛИ НАШ ФИЛЬТР

Даже больше, чем другие части иммунной системы, лимфатическая система ведет скрытый образ жизни. В большинстве случаев мы замечаем лимфатические узлы только потому, что они набухают во время некоторых заболеваний. Тем не менее вся эта система всегда завораживала человека — возможно, именно потому, что ее трудно понять. Даже Томас Манн в «Волшебной горе»\* назвал ее «самой нежной, интимной и ласковой частью всего тела».

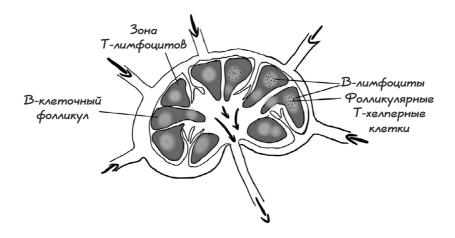
Свое название лимфатическая система получила в честь Лимфы, одной из нимф в греческой мифологии. Ее имя означает «ясная и прозрачная». Это вводящее в заблуждение название оправдывает себя, только если сравнивать лимфу с темнокрасной кровью — соком второй крупной сосудистой системы организма. На самом деле лимфа — это молочно-белая жидкость, которая распределена во всем теле. Помимо воды, кислорода, белков и других питательных веществ, поступающих в ткани организма из кровотока, она состоит из большого количества иммунных клеток. Однако патогенные микроорганизмы также

<sup>\*</sup> Манн. Т. Волшебная гора. М. : АСТ, 2010.

переносит лимфа. Лимфатические сосуды соединяются вместе, образуя более крупные лимфатические каналы — короткие отрезки, впадающие в один из нескольких сотен лимфатических узлов, разбросанных по всему телу. Оттуда через грудной лимфатический проток эта жидкость попадает в подключичную вену и таким образом возвращается в кровоток.

Лимфатические узлы находятся повсюду в организме. У каждого из нас их около шестисот. По стратегическим соображениям узлы группируются там, где сходится лимфоток из разных областей: на шее, где собирается лимфа от головы и рук; в паху — там, куда поступает лимфа от ног. Большое количество лимфатических узлов сосредоточено на тех участках организма, через которые патогенные микроорганизмы могут проникнуть в тело, то есть в области рта или в легких. Они служат в качестве фильтра, отсеивающего как можно больше болезнетворных микроорганизмов.

Лимфатический узел похож на бобовое зернышко. С одной стороны, к нему подходят несколько лимфатических каналов, а с другой — отходит большой лимфатический канал, который образуется из сходящихся в пучок синусов, мелких каналов. Строгий контроль качества поступающей лимфы начинается уже на входе в лимфатический узел. Здесь, снаружи, находятся дендритные клетки и макрофаги. Они отлавливают всех, кто выглядит хоть сколько-нибудь подозрительно. Внутри лимфатического узла В- и Т-лимфоциты также поджидают чужаков, заняв строго свои места. В-лимфоциты располагаются в своем кружке, так называемом В-лимфатическом фолликуле. Т-лимфоциты организуются вокруг него в зоне Т-клеток. Только несколько хелперных клеток сидят непосредственно в фолликуле В-лимфоцитов, как уже говорилось выше. Это генералы CD4, которые специализируются на антителах.



Однако и многие другие участки иммунной системы связаны с лимфатической системой: система кровеносных сосудов, селезенка, костный мозг и тимус. Сейчас мы рассмотрим их более подробно.

#### КУДА ДВИЖЕТСЯ ИММУННАЯ АРМИЯ — В КРОВЬ

Без крови иммунная система опозорилась бы в войне с пришельцами. Это утверждение верно по двум причинам. Первая очевидна сразу: в организме нет иной столь же широко разветвленной транспортной системы. По венам, артериям и капиллярам кровь, а вместе с ней и все ее компоненты, имеющие значение для иммунной системы, быстро достигают практически любого уголка тела. Это означает, что, кроме макрофагов и некоторых типов дендритных клеток, прочно обосновавшихся в тканях и многих органах, все иммунные клетки также

находятся и в крови. Однако это лишь небольшая часть нашего жизненного сока. В одной миллионной части литра крови под микроскопом возможно рассмотреть около 5 млн красных кровяных телец (эритроцитов) для транспортировки кислорода, 150-350 тыс. тромбоцитов для свертывания крови и только 4-8 тыс. белых кровяных телец (лейкоцитов), которые отвечают за иммунную защиту, включая В- и Т- лимфоциты и некоторые моноциты. Этого достаточно, чтобы в обычных условиях держать все под контролем. Однако иммунная армия, конечно, объявит мобилизацию при необходимости. Многие читатели наверняка слышали, что повышение лейкоцитов в анализе крови — типичный признак инфекции.

Кстати, об инфекциях. Особенно опасны инфекции в местах, где отсутствует кровоснабжение: например, в хрящах или роговице. Здесь организм идет на компромисс: хрящ должен выдерживать высокое давление, на что кровеносные сосуды в принципе не способны. Роговица обеспечивает нам хорошую видимость — было бы печально, если бы все эти красные линии кровеносных сосудов ограничивали наше поле зрения. То, что хорошо для исполнения одних функций, является препятствием для транспортировки защитных клеток в такие места. Так, попадание патогена в хрящ во время операции на суставе даст опасное осложнение.

Однако и инфекция в кровотоке не менее опасна. Так называемое заражение крови, сепсис, встречается совсем не редко, это рядовое явление в больничной жизни, которое доставляет немало беспокойств, поскольку приводит к смерти в течение считаных часов. Патогенные микроорганизмы — в основном бактерии — не только распространяются по организму через кровоток и образуют повсюду мелкие очаги, но и вызывают бурную воспалительную реакцию во всем теле. Это, в свою очередь, повышает свертываемость крови, вследствие чего развиваются тромбозы. Ухудшается кровообращение, повышается проницаемость сосудов, и отдельные органы могут быстро выйти из строя. Коварство заключается в том, что такое заражение может начаться с незначительного пореза на коже, если не очистить рану и в нее попадет инфекция. Некоторые паразиты также могут послужить причиной сепсиса. Например, малярия, о которой мы поговорим позже.

Наряду с транспортной функцией кровь также служит тем путем, по которому иммунные клетки осуществляют крупномасштабную коммуникацию. Дендритные клетки, макрофаги и нейтрофилы, подобно сирене, вызывая процесс, называемый хемотаксисом, привлекают защитные клетки крови. Они следуют за привлекшими их внимание веществами, проникая через более проницаемые стенки кровеносных сосудов в ткани.

Помимо центральной инфраструктурной задачи по отправке иммунной армии на фронт, кровь предоставляет поле деятельности для системы комплемента. В рамках текущего состояния науки этот термин вводит в заблуждение. Во всяком случае, это вовсе не дополнительная система обороны. Она уже включена во врожденную иммунную систему. Однако Пауль Эрлих, один из пионеров иммунологии, который ввел этот термин в 1890 году, этого не знал. Он считал, что антитела распознают как антигены, так и комплементы\* в сыворотке крови. Это не ошибочный, но близорукий взгляд на предмет изучения.

Ранее мы обсуждали клеточные компоненты крови. Однако, кроме них, плазма крови, помимо воды, белков, гормонов,

<sup>\*</sup> Комплемент — система белков в сыворотке крови, обладающая способностью вызывать растворение микробов и других клеток, является фактором неспецифического иммунного ответа.

гамма-глобулинов и факторов свертывания, включает и систему комплемента. Эти 30 различных белков и ферментов легче всего описать по их функциям: в режиме тревоги они запускают каскад тревожных сигналов, благодаря которому могут быть обезврежены бактериальные патогены, а также некоторые паразиты и грибки. Первые ферменты, называемые С1, прикрепляются к антителу, связанному с патогеном. Они привлекают дополнительные ферменты, которые затем постепенно покрывают поверхность патогена целиком. Если вы смотрели фильм «Матрица», то вы наверняка помните рой дронов. Вот так же ферменты штурмуют патоген, помогая фагоцитам распознать «вражеские» метки на расстоянии. Иногда, однако, ферменты сами вступают в бой и продырявливают стенки патогена, пока тот окончательно не сдуется.

#### МЕСТО РОЖДЕНИЯ КЛЕТОК — В КОСТНОМ МОЗГЕ

Костный мозг — это первичный бульон\* иммунной системы. Именно здесь формируются или, по крайней мере, предварительно заготавливаются многие ее компоненты. Костный мозг, а точнее красный костный мозг, обладает для этого оптимальными условиями. Костный мозг распределен по всему телу, а именно на концах всех трубчатых костей, а также в нескольких плоских костях. Он расположен глубоко внутри костей

<sup>\*</sup> Первичный бульон — термин, введенный советским биологом А. И. Опариным. В 1924 году он выдвинул теорию о возникновении жизни на Земле через превращение в ходе постепенной химической эволюции молекул, содержащих углерод, в первичный бульон.

с твердым наружным слоем, который делает кость особо прочной, и мягкой, хорошо амортизирующей прослойкой жировой ткани. Итак, здесь в спокойной атмосфере зарождается бесчисленное количество клеток. Прежде всего это эритроциты, но сразу за ними идут многочисленные типы клеток, которые необходимы для функционирования иммунной системы.

У детей красный костный мозг еще распределен по всем костям, а у взрослых он концентрируется в небольшом их количестве, исчезая, в частности, из середины трубчатых костей, что неудивительно, так как количество родильных отделений соответствует спросу, который сокращается с возрастом, поскольку организм перестает расти. Однако всех людей объединяет то, что в костном мозге находятся недифференцированные клетки, которые могут стать теми или иными, в зависимости от запроса. Их также называют плюрипотентными — от pluris (много) и potentia (способность), или стволовыми. Большинство людей наслышаны о них в контексте лечения рака. Иногда раздаются призывы зарегистрироваться в качестве донора стволовых клеток.

Стволовые клетки можно представить в виде яблони: общий ствол, куча ветвей с множеством маленьких веточек, листьев и яблок, которые все принадлежат одному дереву, но служат совершенно разным целям. Стволовые клетки в костном мозге могут в конечном счете стать как лимфоидными клетками для иммунной системы, так и миелоидными для кровеносной. Здесь же зарождаются другие компоненты иммунной системы. Некоторые из них целиком вырабатываются в костном мозге, например В-лимфоциты, продуцирующие антитела. Другие только возникают в костном мозге, а затем мигрируют, например в кровь, тимус или селезенку. Так происходит, скажем, с макрофагами и фагоцитами.

Звучит ужасно сложно, но это только если глубоко копать. Достаточно знать главное: из стволовой клетки образуются все упомянутые нами клетки. Это настоящее чудо, поэтому стволовые клетки так востребованы в лечении рака и активно исследуются учеными. Различные иммунные клетки образуются в организме ежедневно тысячи раз. Однако в двух случаях производство клеток стимулируется дополнительно: если иммунная система находится в состоянии боевой готовности и подстегивает выработку клеток и при потере крови в результате травмы или при добровольной сдаче крови.

#### О ЗЛАТОВЛАСКЕ И ТРЕХ МЕДВЕДЯХ, ИЛИ ШКОЛА Т-ЛИМФОЦИТОВ

Вы когда-нибудь ели зобную железу теленка? М-м-м, эти нежные внутренности. А еще это место, где находится школа Т-лимфоцитов. Именно здесь, в тимусе, молодые клетки обучаются на Т-лимфоциты CD4<sup>+</sup> или CD8<sup>+</sup>, но станут ими, только если успешно сдадут выпускные экзамены. Экзаменаторы строгие, и, скажем прямо, обычно дело заканчивается смертью клеток.

Как и в случае с обязательным школьным образованием, все заканчивается в подростковом возрасте. Тимус, вначале размером примерно с яйцо, прячется за грудной костью. Он разрушается самое позднее в период полового созревания, поскольку больше не нужен. Однако до тех пор тимус жизненно необходим, так как без него у человека не сформируется полноценная иммунная система — со всеми вытекающими.

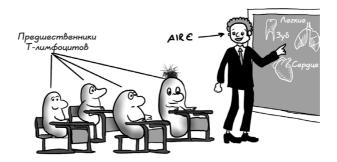
В тимусе происходит следующее: из костного мозга в него поступают заготовки Т-лимфоцитов. Они могут стать чем

угодно: CD4-клетками, Т-регами (CD25+) или Т-клетками CD8<sup>+</sup>. В тимусе их сначала обучают, проверяют на пригодность, сохраняют, преобразуют или хладнокровно убивают. Захватывающий процесс, потому что организм готовит огромный арсенал защитных клеток, распознающих неимоверное количество чужеродных структур. Для этого различные сегменты генов в Т-лимфоцитах рекомбинируются то одним, то другим образом. Это создает миллиарды различных клеток, которые в состоянии распознать просто все.

Но это только начало. Система оптимизируется путем отсеивания всех неподходящих клеток на втором этапе. Первый класс состоит из тех, кто проходит так называемый позитивный отбор. Мы только недавно обговорили, что Т-лимфоцит распознает патоген по его «руке» — HLA. В случае положительного отбора проходят только те Т-лимфоциты, которые способны пожать именно такую «руку» — будучи Т-клеткой либо CD4+, либо CD8+. Это означает: в следующий класс переводятся только те ученики, у которых есть потенциал для распознавания того, что им предъявляется.

Во втором классе школы тимуса происходит негативный отбор. Это одно из величайших чудес иммунной системы. В тимусе есть небольшой фермент под названием AIRE. Он воспроизводит в миниатюре практически все структуры, существующие в нашем теле. Весь наш организм со всеми его компонентами предъявляется Т-лимфоцитам по быстрой процедуре: вот глаз, вот селезенка, вот ноготь, вот ухо и так далее, и так далее... Однако фокус в том, что учителя в тимусе вовсе не хотят, чтобы ученики как-то на них реагировали. Если кто-то из учеников проявит реакцию и напрыгнет на образец, с ним быстренько разберутся или, точнее, посоветуют покончить жизнь самоубийством, потому что такому в организме не место.

# Школа тимуса



Выпускаются только те ученики, которые освоили рукопожатие с другими клетками и игнорируют все, что происходит в организме естественным образом.

Итак, идеальный выпускник школы тимуса выглядит так: внимательный и эффективный, но не слепо бросающийся на все подряд. Правда, есть одно исключение. А именно: такой ученик, который тянет руку, хочет высказаться, но, не будучи уверенным, решает отказаться от затеи и опускает руку. Учителя тимуса отводят ему совершенно особую роль. Он становится регуляторной Т-клеткой. Это клетки, которые энергично предупреждают о необходимости иммунного ответа, но и тормозят его, когда нужно приглушить иммунную систему. В английском языке даже есть термин, заимствованный из старой сказки: принцип Златовласки, или золотая середина между двумя крайностями. Златовласка проникла в дома трех медведей и попробовала еду в каждой из трех мисок. Первый медведь любил холодную пищу, второму нравилась горячая, а третий ел теплую, что и пришлось по душе Златовласке.

Насколько важно присутствие регуляторных клеток, Т-регов, можно увидеть на примере особенно хитрых патогенов — вирусов и бактерий, которые маскируются под собственные ткани организма. Они делают это для того, чтобы организм не сразу распознал их как врагов. Это результат тысячелетней коэволюции патогенов с человеком. Известный пример — стрептококки. Существует множество различных видов стрептококков, большинство из которых не вызывает заболеваний у здорового человека. Некоторые из них настолько виртуозно подделываются под местные структуры, что организм не вырабатывает на них должного иммунного ответа. Иммунные клетки, которые сразу же распознали бы эту структуру, были отсеяны в школе тимуса. Так что хотя организму нужно вырабатывать умные иммунные реакции, но в то же время он должен быть осторожным, чтобы не обратить их против себя. И Т-реги играют при этом важнейшую регуляторную роль.

#### ЗДЕСЬ ОТСЕИВАЮТ, ИЛИ СЕЛЕЗЕНКА

Слева, чуть ниже ребер, расположен богатый кровью орган размером с кулак, который имеет большое значение для иммунной системы, — селезенка. В случае инфекции этот огромный фильтр сильно раздувается, чтобы справиться со своей задачей: он отсеивает из крови клетки с дефектами. В этих целях через селезенку проходят крупные кровеносные сосуды. Однако в дополнение к функции скрининга кровь в селезенке смешивается с коктейлем из различных иммунных клеток. Селезенка — хранилище моноцитов и формирует плотную сеть В- и Т-лимфоцитов и фагоцитов для распознавания и уничтожения предполагаемых патогенов. Это происходит в двух областях селезенки — белой и красной пульпе. Белая пульпа по своей структуре напоминает лимфатический узел. Именно здесь принимается решение о том, нужно ли запускать иммунный ответ. Красная пульпа — то место, где сидят макрофаги и поедают все, что ранее было помечено как «вредоносное» или разлагающееся.

Большинство отфильтрованных клеток — мертвые кровяные тельца. Так организм очищается, но иногда это становится проблематичным. В случае малярийной инфекции приходится отфильтровывать столько погибших эритроцитов, что «сито» в селезенке засоряется. А инфекция, вызванная вирусом Эпстайна—Барр (мононуклеоз), может так подстегнуть размножение В-клеток, что селезенка распухнет до угрожающих размеров. Редко, но случается, что она даже лопается.

Например, во время аварии при падении с велосипеда через руль может произойти разрыв селезенки. В этом случае необходимо поторопиться. Существует риск сильной кровопотери. Этот орган невозможно зашить, только удалить. Можно жить без селезенки, но в этом случае на протяжении всей жизни у человека будет повышенный риск инфекционных заболеваний, вызываемых бактериями и грибками. Особенно тех, которые распространяются через кровь. Так что людям без селезенки следует насторожиться, когда у них поднимается температура. Существует угроза опасной для жизни инфекции. Лучше лишний раз принять антибиотик, чем упустить момент. Кроме того, людям без селезенки чаще рекомендуют делать прививки для предотвращения подобных осложнений.

#### **ИММУННАЯ РЕЗИСТЕНТНОСТЬ**

До сих пор помню, как после моих объяснений Тильманну сразу полегчало. Может быть, потому, что он узнал, что в его теле находится целая армия, которая спасет его. Возможно, у него появилась уверенность в своей иммунной системе. «Нас легион против злоумышленников, посмевших свалить тебя на диван» — это, казалось, подбодрило его. Сюзанна приготовила Тильманну чай, который он осторожно отпивал маленькими глотками. Постепенно он успокоился, расслабился. Я к месту упомянул, что у иммунной системы имеются клетки, которые следят, чтобы не было суеты. Особенно это понравилось Лизе, которая со смаком закручивала второй косячок.

Ни тогда, ни сейчас нельзя не рассказать о противоположном защитном принципе иммунной системы — иммунной толерантности. Инь и Ян — одно не существует без другого. Когда речь заходит об иммунной системе, можно говорить прямо: без иммунной толерантности никого из нас не было бы

Каждой системе необходим орган управления. Например,  $T\ddot{U}V^*$  проверяет пригодность автомобилей к эксплуатации, аудитор — бухгалтерскую отчетность крупных и малых компаний, а ветеринарная служба контролирует, забивают ли скот в соответствии с установленными нормами. Без механизмов контроля быстро воцарился бы хаос, увеличилось бы количество аварий на дорогах, фабриковались бы балансовые отчеты, а коров и коз забивали бы на задних дворах. Так и у иммунной системы есть контролирующий орган, обеспечивающий порядок и понятные

Убъединение технического надзора — немецкая организация, осуществляющая надзор за техническим состоянием транспортных средств.

правила. Должна существовать возможность остановить оборонительные войска в случае необходимости.

Есть два типа иммунного контроля: с одной стороны, специализированные клетки — регуляторные Т-клетки, с которыми мы уже познакомились; с другой — когда клетки организма замечают чрезмерную иммунную реакцию, они сами снижают свою реактивность. Лучше меньше, да лучше. Реагирование должно быть оптимальным, не разрушительным для окружающих тканей.

# ЧУЖОЕ В НАС, ИЛИ К ЧЕМУ НАША ИММУННАЯ СИСТЕМА ПРИСПОСАБЛИВАЕТСЯ

Подумайте: эмбрион в материнской утробе генетически является наполовину мамой, но наполовину и папой — а значит, чем-то чужим. Однако иммунная система призвана бороться с чужеродными элементами. Если бы существовал только один принцип иммунной защиты, беременность стала бы невозможна. Ведь даже если кровообращение раздельное и растущий ребенок плавает в замкнутом маленьком мирке — в утробе матери, а там еще и в амниотическом мешке, — все равно встречи между своими и чужими неизбежны. Казалось бы, материнская иммунная система должна отторгать эмбрион, как это происходит при пересадке органов. Тем не менее этого не случается. Вот он — впечатляющий признак адаптивности иммунной системы. Между иммунной системой матери и иммунной системой эмбриона существует как бы перемирие.



Как формируется толерантность материнского организма к своему ребенку, изучено еще не до конца. Кроме того, иммунная система не ставится полностью на паузу на все девять месяцев. Она не может себе такого позволить. Несомненно одно: плацента образует защитный барьер между матерью и ребенком, и поэтому полномасштабная иммунная активность против эмбриона исключена. Вдобавок ко всему, в целях защиты эмбриона иммунная система матери на время

беременности ослабляется. Это одна из причин, почему в этот период чаще возникают инфекционные болячки и почему беременные считаются группой риска по многим (особенно вирусным) заболеваниям.

Недавние исследования показали, что доля Т-регов, регуляторных Т-клеток, вокруг плаценты и в пуповине значительно увеличивается в период беременности. Существенно возрастает и число естественных клеток-киллеров. Можно подумать, что клетки здесь охотнее идут на заклание. Напротив, они, похоже, выполняют регуляторную, даже успокаивающую функцию. Вероятно, что местами слишком сильные иммунные реакции подавляются. И хотя мы каждый день узнаем что-то новое об иммунной системе, именно на этом примере становится понятным, как мало нам все еще известно о ней.

#### 100 ТРИЛЛИОНОВ ОРГАНИЗМОВ. ИЛИ МИКРОБИОМ В КИШЕЧНИКЕ

Но даже если вы не беременны, иммунная толерантность все равно остается вашим ежедневным спутником. Вы просто не в курсе. Если бы существовала только иммунная защита, ваш кишечник не мог бы переваривать пищу, а находился бы в постоянном противостоянии с ней. Грубое деление «свой хороший, чужой — плохой» отторгло бы и йогурт, и ломтик хлеба, и кусочек огурца, съеденные нами. Ведь в них, как и во многих других продуктах, содержатся чужеродные организмы — достаточно вспомнить молочнокислые бактерии, дрожжи или некоторые виды плесени. И с ними не только нужно смириться, они даже чрезвычайно важны для нашего

здоровья. Однако как наша иммунная система «узнает», какие микроорганизмы являются жизненно важными?

Во-первых, кишечник отделен от остального организма барьером — многослойной кишечной стенкой. Изнутри она покрыта слизистой оболочкой, в которой находится около трети всех производящих антитела клеток иммунной системы человека. Среди них, помимо прочих, особенно много регуляторных Т-клеток, которые призывают своих более агрессивных товарищей сохранять спокойствие. Для этого они обеспечивают выделение интерлейкина-10, обладающего успокаивающим, противовоспалительным действием. Регуляторные клетки знают секрет безопасных антигенов. Это означает, что они не беспочвенно раздают указания иммунной системе, а опираются на свою тонко отстроенную память.

Эта память формируется в первые месяцы жизни. Пока ребенок не родился, его кишечник практически не сталкивается ни с чем инородным. Ребенок только заглатывает порядочно амниотической жидкости, в которой есть максимум несколько материнских клеток. Их приходится потерпеть. Ситуация меняется: рождение является стартовым сигналом для формирования адаптивной иммунной системы, происходят крутые изменения. Все начинается с того, что многие материнские клетки попадают в пищеварительный тракт с молоком, на котором иммунная система ребенка уже понемногу тренируется. В то же время в материнском молоке много материнских иммунных клеток, которые с благодарностью принимаются. Кстати, если ребенок получает заменители грудного молока, иммунных клеток не хватает, а требования к кишечнику в отношении того, как обращаться с чужеродными веществами, значительно возрастают, ведь ребенок получает адаптированный продукт из коровьего или козьего молока.

Следующий шаг — практика на небольшом количестве веществ, поступающих в основном через рот. В последующие месяцы этот маршрут постепенно становится главным путем для инородных агентов. Все больше и больше их попадает в кишечник, бросая вызов иммунной системе и заставляя ее учиться. Процесс происходит по принципу: кто первый сел, того и место. Соответственно, важным является получение подходящих антигенов. Так формируется — держим кулачки, здоровая — кишечная флора. Спустя почти три года микробиом, состоящий примерно из 100 триллионов — единица с 14 нулями — организмов, стабилизируется.

С этого момента эта флора сопровождает человека на протяжении всей его жизни. Позднее изменить биом гораздо сложнее, и возможные неправильные корректировки могут привести к серьезным заболеваниям. Однако генетические заболевания, такие как болезнь Крона или язвенный колит, тоже могут стать причиной хронического воспаления кишечника, при котором микробиом подвергается постоянным атакам. Если иммунная система бесконтрольно борется с микробиомом, хроническое воспаление неизбежно. Даже такие радикальные меры, как трансплантация кала, при чрезмерно чувствительной иммунной системе часто способны обеспечить лишь кратковременное излечение.

# ПОТЕНЦИАЛЬНО СМЕРТЕЛЬНОЕ ЯБЛОКО, ИЛИ ИММУННАЯ ТОЛЕРАНТНОСТЬ ВО РТУ

Вскользь я уже упоминал третий пример иммунной толерантности: полость рта. Давайте представим, что произойдет с хрустящим кусочком яблока, если ваша иммунная система

не сбалансирована. Яблоко вступает в контакт со слизистой оболочкой рта, где миллионы и миллионы иммунных клеток немедленно начинают голосить: «Не наш, не наш!» Реакция на множество различных клеток и микроорганизмов в яблоке была бы резкой: отек тканей, чужеродные клетки были бы инкапсулированы полчищами иммунных клеток, повсюду образовались бы пустулы или афты\*, пораженные клетки были бы принесены в жертву и отправлены на смерть. Вот ужас, который способна предотвратить только иммунная толерантность.

Кроме того, организм здорового человека способен противостоять чужеродным белкам, постоянно устраивающим ему засады, сбалансированным ответом. В случае с продуктами питания это означает подавление иммунного ответа на антигены, содержащиеся в данном продукте. Для этого организм снижает активность Т-лимфоцитов и отдает предпочтение регуляторным Т-клеткам. Звучит ясно и просто, но это лишь результат множества механизмов, которые еще не до конца изучены. Иммунологи предполагают, что, например, в развитии иммунной толерантности имеют значение состав и количество антигена, пути, по которым он попадает в организм, физические барьеры, пищеварительные процессы, определенные бактерии полости рта и индивидуальная иммунная регуляция. Даже кишечные бактерии играют определенную роль, поэтому, заговаривая о здоровье кишечника, терапевты начинают с полости рта. Урок, который можно извлечь из этого: как и всегда в жизни, все хорошо в меру.

<sup>\*</sup> Пустулы и афты — признаки стоматита.



### Почитать описание, рецензии и купить на сайте

Лучшие цитаты из книг, бесплатные главы и новинки:







**W** Mifbooks

