Джино Сегре

ВСЕ О ГРАДУСАХ

# Введение: Линейка, часы и термометр

Большинство из нас, вероятно, начинают свой день с ряда вопросов: куда мне нужно пойти? Который час? Насколько сегодня холодно на улице? Укладываясь спать, мы предвкушаем завтрашние ответы на те же вопросы. Измерения длины, времени и температуры — явные или неявные — задают ритм нашей жизни. Особенно меня увлекает температура, самая изящная из этих трех величин. Хотя новые идеи расширяют наши горизонты, повседневное понимание длины и времени практически не изменилось за тысячелетия. У нас давно есть линейки и часы. С температурой всё иначе. Даже если мы согласимся, что младенец сразу ощущает разницу между горячим и холодным, наша способность измерять температуру появилась лишь несколько сотен лет назад. Наше научное понимание температуры газа, связанное со средней кинетической энергией молекул в тепловом равновесии, возникло ещё позже.

Традиционно научные книги для широкой публики посвящены конкретной дисциплине или определённой проблеме. Книги о космологии, генетике или нейронауке полезны и зачастую восхитительны. Я же выбрал иной путь, используя измерение температуры как проводника для исследования многих аспектов науки. Такой широкий подход неизбежно требует отбора материала; сделанные выборы отражают мою профессиональную подготовку, вкусы, а также пробелы и накопленные знания. В качестве предостережения я должен сначала рассказать, кто я такой и к чему движется эта история.

Я физик. Когда люди спрашивают, чем я занимаюсь, я говорю, что продолжаю семейное дело. Мой брат — физик, мой племянник тоже, множество кузенов связаны с этой профессией, мой дядя получил Нобелевскую премию по физике, отец моей жены был известным немецким физиком, а её сестра замужем за ещё более знаменитым венским физиком. Физика, мой профессиональный путь, имеет для меня и семейное измерение.

Два поколения назад семейным делом была бумажная промышленность. Мой еврейский дед Джузеппе, будучи молодым человеком, переехал из Мантуи на севере Италии в Тиволи, город примерно в 15 милях к западу от Рима. Там он построил небольшую бумажную фабрику, которая развивалась благодаря растущим потребностям процветающей столицы тогда еще недавно объединённой Италии. Новая и в то же время древняя страна, когда-то едва терпимая к еврейскому предпринимательству, теперь его поощряла. Джузеппе был вознаграждён за свои усилия, когда новая Италия присвоила ему почётный титул *коммендаторе* (это почетный титул, который традиционно присваивался за выдающиеся заслуги в разных областях, например, в науке, искусстве, общественной деятельности или предпринимательстве. Титул "коммендаторе" может быть присвоен как гражданам Италии, так и иностранцам – прим.перев.).

Тиволи процветал ещё во времена Древнего Рима. Известный тогда как Тибур, он расположился у подножия Апеннинских гор, окружённый тополиными лесами и охлаждаемый рекой Аниене с её многочисленными водопадами. Тибур был приятным местом для проведения жарких летних месяцев. По мере роста богатства Римской империи здесь возводились виллы и храмы. Во II веке нашей эры Адриан построил здесь свою великолепную резиденцию в месте, где холмы Тибура встречались с римской сельской местностью. Как описала Маргерит Юрсенар в книге «Мемуары Адриана», это было больше, чем просто вилла. С театром, отражающим бассейном и другими вспомогательными постройками, это, вероятно, была самая большая частная резиденция классического мира, излучающая при этом тишину и умиротворение. Юрсенар представляет себе размышления императора:

"Я вновь вернулся на виллу, к её павильонам в садах, созданным для уединения и покоя, к следам роскоши, лишённой показного великолепия, и столь далёкой от имперской пышности, задуманной скорее для ценителя искусства, стремящегося сочетать радости творчества с очарованием сельской жизни."

Этот драгоценный уголок был заброшен на долгие века, но раскопки на Вилле Адриана, как она теперь называлась, начались в 1870 году, одновременно с превращением Рима в столицу возрождённой Италии.

В эпоху Возрождения Тиволи, новое название Тибура, вновь стал легендарным укрытием от жары соседнего мегаполиса. В 1550 году кардинал Ипполито д’Эсте начал преобразовывать старый монастырь в Виллу д’Эсте, роскошную резиденцию с лучшими ренессансными фонтанами Италии...

.Он построил её на склоне холма, чтобы усилить эффект ниспадающих вод, а также чтобы кардиналы и знать, прогуливаясь по прохладным дорожкам, могли видеть вдалеке купол собора Святого Петра. Тиволи стал синонимом изысканности и очарования. Такие отдалённые места, как парк развлечений в Копенгагене, до сих пор носят его имя.

В XIX веке в Тиволи пришла индустрия. Для бумажных фабрик требуются деревья для производства древесной массы, обильная вода, энергия и, желательно, близость к рынку сбыта. У Тиволи было всё это, и потому мой дед построил свою фабрику прямо под Виллой д’Эсте, на месте древнего римского Храма Геркулеса. Руины храма стали основой фабрики, что с точки зрения современного сознания выглядит как немыслимое святотатство. Однако в те времена растущие потребности нового Рима делали камни старого Рима подходящим фундаментом. В конце своей жизни мой отец шутил, что единственным следом семьи Сегре в Тиволи останется табличка с надписью: «Здесь находился Храм Геркулеса, осквернённый семьёй Сегре, но восстановленный в свом прежнем величии...».

У моих бабушки и дедушки было трое детей, все мальчики. Они выросли в мире, драматично балансирующем между старым и новым. Старший, Анджело, мой отец, в детстве бродил среди руин Виллы Адриана, собирал римские монеты и изучал прошлое. Позже он стал профессором древней истории, но стремился не просто фиксировать события прошлого, а понять, как люди платили по счетам, чем торговали, как функционировала их экономика, как оценивалась валюта в Средиземноморье и что делали римляне в периоды финансовых кризисов. Его наиболее значительным трудом был двухтомный трактат «Метрика и денежное обращение в древнем мире», где метрика изучалась как наука об измерении. Я до сих пор помню, как он с энтузиазмом рассказывал мне о своей радости, когда узнал об открытии древнего хранилища, полного разбитых кувшинов, и понял, что сможет предсказать размер каждого кувшина после его реконструкции. Он знал, что хранилось в комнате, что перевозилось в кувшинах, кто их продавал, кто и за сколько покупал. Он знал все измерения.

Очаровательный, любимый, но слегка эксцентричный человек, мой отец всё больше воспринимал изучение древнего мира как своего рода роскошь. Он был очарован возникновением квантовой механики, теории относительности, генетики и идеей расширяющейся Вселенной. Он убеждал своих детей изучать науку, возможно, сожалея о том, что сам в своё время этого не сделал. Однако, с другой стороны, его историческое сознание было настолько глубоким, что он побуждал других исследовать то, что для него самого было неизведанным.

Средний сын, Марко, выбрал традиционный путь, оставаясь в старом семейном бизнесе и управляя бумажной фабрикой. Его интересы были сосредоточены на измерениях более практичного характера: балансовых отчётов, потоков наличности и показателей роста.

В середине 1920-х годов третий сын, Эмилио, ещё будучи студентом Римского университета, начал работать с Энрико Ферми. Ферми, недавно приехавший в Рим, был всего на четыре года старше Эмилио, но уже являлся профессором и начинал набирать мировую известность. В сотрудничестве с Ферми и другими Эмилио сделал успешную карьеру в физике, как в Европе, так и позже в Соединённых Штатах.

Эмилио больше всего известен своей работой с Ферми над изучением нейтронов и открытием антипротона, за что в 1959 году он вместе с Оуэном Чемберленом получил Нобелевскую премию по физике. Однако мне особенно запомнилось его менее известное открытие — элемента технеция и, в частности, измерение его периода полураспада. История этого открытия такова: во время визита в Беркли в 1937 году Эмилио познакомился с выдающимся американским экспериментатором Эрнестом Лоуренсом, создателем первого циклотрона. Они поддерживали регулярную переписку после этой встречи, поскольку у них были схожие интересы. В какой-то момент Лоуренс отправил Эмилио, который всё ещё находился в Италии, молибденовую фольгу, подвергшуюся облучению в циклотроне в Калифорнии. Эмилио предположил, что облучение могло привести к созданию элемента № 43 в периодической таблице — элемента, который ранее никогда не был обнаружен. После ряда тщательных химических разделений, выполненных с его коллегой Карло Перрье, Эмилио подтвердил свою догадку. Они назвали новый элемент технецием. Одной из причин, почему его не удавалось обнаружить раньше, стало то, что технеций имеет несколько химически идентичных форм, ни одна из которых не является стабильной.

Я знаю, что это открытие имело для моего дяди особое значение, потому что, когда после Второй мировой войны он наконец смог посетить могилу своего отца, он взял с собой немного технеция. Как он сам писал:

"Я рассыпал небольшой образец технеция на могиле моего отца на кладбище Верано в Риме, как дань любви и уважения сына и физика. Радиоактивность была ничтожно мала, но его период полураспада, измеряемый сотнями тысяч лет, будет существовать дольше любого памятника, который я мог бы предложить."

С возрастом Эмилио обратился к истории. Его первым шагом за пределы науки стала биография его наставника Энрико Ферми. Позже, размышляя о событиях, свидетелем которых он стал за свою жизнь, он написал историю физики XX века, а затем книгу о классической, доквантовой физике. Эти работы стали для Эмилио попыткой ответить на вопрос из «Божественной комедии» Данте: «Chi furono li maggiori tuoi?» («Кто были твои предки?» — в интеллектуальном смысле: «Кто были твои предшественники?»).

Участие моего дяди и наставления моего отца, безусловно, подтолкнули меня к занятию физикой — новым семейным делом. Мой отец пошёл ещё дальше: он заявил, что я должен стать физиком-теоретиком. Когда я спросил, как он пришёл к такому выводу, он ответил, что теоретическая физика — это профессия с двумя основными добродетелями: ты можешь отличить правильное от неправильного и не обязан общаться с теми, с кем не хочешь. Хотя оба утверждения спорны, я всё же стал теоретиком и, вероятно, доказал, что был послушным сыном. За последние тридцать лет я занимался в основном проблемами элементарных частиц, иногда переходя к физике конденсированного состояния и астрофизике.

Оглядываясь на собственные занятия и жизни моего отца и его братьев, я вижу, что нас всех привлекали три типа измерений, которые управляют нашей жизнью: длина, время и температура. Объём амфоры, период полураспада технеция и температура нейтронной звезды измеряются сложными приборами. Более простые измерения производятся с помощью линейки, часов и термометра.

С самого начала я знал, что хочу включить в эту книгу обсуждение некоторых крупных вопросов, которые наука исследовала за последнее столетие, многие из которых до сих пор остаются без ответа. Стараясь это сделать, я с удовольствием обнаружил, что температура неизбежно становится частью повествования, а не просто побочным маркером. Рассмотрим три примера.

Наша Земля сформировалась около 4,5 миллиарда лет назад из протопланетного диска, но когда же появилась жизнь? Хотя она, несомненно, существовала 3,7 миллиарда лет назад, был ли промежуток в 800 миллионов лет достаточно долгим, чтобы первичные органические молекулы собрались в генетический материал? Были ли при этом подходящие водные условия? Ответы зависят от температуры на ранней Земле — как долго существовал благоприятный климат и насколько устойчива была жизнь к термическим колебаниям. Если условия были такими, что жизнь не могла сформироваться на Земле так быстро, мы должны искать её происхождение в других местах Солнечной системы. Если жизнь пришла извне, где четыре миллиарда лет назад существовали благоприятные условия и как жизнь добралась до Земли?

Следующий пример касается рождения Вселенной в космическом взрыве, известном как Большой взрыв. Невообразимо горячая в начале, Вселенная остывала в течение 300 000 лет, пока её температура не достигла 3000 градусов Кельвина (5500 градусов по Фаренгейту). Экспериментальные данные показывают, что температура в этой 5500-градусной Вселенной была почти полностью однородной, одинаковой в каждой точке. Однако она не могла быть полностью однородной, иначе галактики, звёзды и планеты не смогли бы сформироваться. Сигналы от температурных колебаний менее чем на один градус, существовавших в то время, сейчас изучаются с помощью современных астрономических инструментов.

Третий пример — концепция самой низкой возможной температуры, абсолютного нуля. Идея приближения к этому пределу, впервые появившаяся менее двухсот лет назад, превратилась в исследование нового мира, где поведение диктуется правилами квантовой механики, провода не имеют электрического сопротивления, а жидкости текут без трения. Этот мир, столь далёкий от нашего повседневного опыта, находит своё отражение во внутренних областях звёзд. Более того, он может привести к созданию новых технологий, которые будут полезны в повседневной жизни.

Некоторые из самых интересных загадок температуры, возможно, не столь масштабны, как три вышеупомянутые, но не менее важны. У нас нет простого ответа на вопрос, почему наши тела поддерживают постоянную температуру, независимо от того, живём ли мы в Арктике или в пустыне Сахара, почему эта температура составляет 36,6 градусов, или почему большинство млекопитающих и птиц имеют примерно такую же температуру. Очевидно, что необходимость в постоянной готовности мозга и быстроте реакции играет важную роль. Но это не всё, как видно из множества адаптационных механизмов, которыми обладают животные. Также пока нет полного ответа на вопрос, какие преимущества даёт эволюция лихорадки как реакции на инфекцию.

Эта книга поднимает множество вопросов. Некоторые из её содержаний могут показаться парадоксальными: например, удивительно, что мы знаем температуру в центре Солнца с большей точностью, чем температуру в центре Земли. Однако многие из рассматриваемых проблем имеют объяснения, которые кажутся почти очевидными при размышлении. Хотя я не претендую на всеобъемлющий взгляд на науку, я подчеркиваю взаимосвязь подходов, а также решений. Температура — это связующая нить.

# Глава 1. 36,6

**Тридцать шесть и шесть.** Удивительно, насколько мы все похожи; термометр под языком у инуита на арктической льдине, у пигмея в лесах Итури или у биржевого маклера на Нью-Йоркской фондовой биржи покажет одинаковые показания. Желтые, черные, коричневые или белые, высокие или низкие, толстые или худые, старые или молодые, мужчины или женщины — температура тела все равно 36,6. Для месячного младенца, двадцатилетнего спортсмена и столетнего человека температура тела будет одинаковой. Мышцы могут раздуваться или атрофироваться, зубы прорезаться или выпадать, зрение может быть острым или помутненным от катаракты, частота сердечных сокращений удваивается при стрессе, дыхание может колебаться сильно, вы можете дрожать без остановки или потеть рекой, но температура остается прежней. И вы чувствуете себя больным, если она отклоняется хотя бы на 2 процента. Если она повышается или понижается на более чем 5 процентов, стоит подумать о посещении врача. Подобное сходство действительно удивительно. Дыхание, потоотделение, выделение и другие функции организма могут сильно колебаться, но все они настроены на поддержание постоянной температуры тела.

Строго говоря, 36,6 — это всего лишь удобная аббревиатура, потому что измерения могут немного отличаться, хотя и в предсказуемом диапазоне. Температура кожи обычно на 6 градусов ниже, чем внутренняя температура тела, как легко можно убедиться, если поставить термометр между пальцами вместо того, чтобы класть его под язык. Оральные и ректальные показания тоже различаются, причем последние обычно на один градус выше. Внутренняя температура варьируется в зависимости от органов, их метаболизма и кровообращения. Еще до того, как температуру стали измерять, наши предки считали, что самая горячая часть тела — это сердце, особенно сердце «горячих кровей». Теперь, более прозаично, мы обнаружили, что далеко не столь страстная печень обладает честью быть самой горячей.

Идея о том, что у всех людей одинаковая температура тела, казалась бы очень странной до семнадцатого века. Тогда существовали только грубые термометры, и никто не использовал их для точных измерений, чтобы сравнивать температуру тела у разных людей. Считалось, что температура тела, измеренная только внешне и очень приблизительно, зависит от местного климата и поэтому выше в тропиках, чем в умеренных широтах. Первая проблема, поставленная во влиятельной книге Иоганна Гаслера *De logistica medica*, опубликованной в 1578 году, звучала так: «Найти естественную степень температуры каждого человека, как она определяется его возрастом, временем года, широтой и другими влияющими факторами». Развернутые таблицы Гаслера показывали врачам, как смешивать лекарства в зависимости от степени тепла и холода, потребностей пациента и условий его окружения. Конечно, представление о том, что лихорадка связана с болезнью, было хорошо известно. Поэтому он призывал врачей быть внимательными к изменениям температуры.

Теперь мы знаем, что температура нашего тела не зависит от местоположения. Она немного меняется в зависимости от времени суток, постепенно повышаясь к середине дня, обычно на 1,5 градуса выше ночного минимума; 36,6 — это просто среднее значение за день. Однако даже это утверждение нужно уточнить, как говорит Harrison's Principles of Internal Medicine:

«Хотя “нормальная” температура у человека была установлена как 36,6°С на основе первоначальных наблюдений Вундерлиха более 120 лет назад, средняя температура у здоровых людей в возрасте от 18 до 40 лет на самом деле составляет 36,8°С.»

Температура выше нормы называется пирексией, или, более часто, лихорадкой, а ниже нормы — гипотермией. Механизмы регулирования, которые в основном поддерживают нас в пределах нормального диапазона, контролируются главной системой управления, встроенной глубоко в мозг. Гипоталамус, маленький орган, который устанавливает температуру, также контролирует секреции, которые регулируют многие ключевые метаболические функции, регулирует уровни воды, сахара и жиров в организме, а также направляет выделение гормонов, которые как ингибируют, так и усиливают нашу деятельность. Харви Кашинг, великий американский врач начала двадцатого века, изучавший поведение гипоталамуса и гипофиза, описывал наш гипоталамус следующим образом:

«Здесь, в этом тщательно скрытом месте, почти покрытом ногтем, находится сам источник примитивного существования — вегетативного, эмоционального, репродуктивного — на который с большим или меньшим успехом человек наложил кору сдерживаний.»

Наши тела генерируют тепло различными метаболическими механизмами, подпитываемыми пищей и напитками. Тело рассекает примерно 85 процентов тепла через кожу, остальное выходит через дыхание и выделения. Поскольку кожа является главным пунктом входа и выхода тепла, именно там мы должны искать связь с гипоталамусом. Существует два важных пути. Один — это периферическая нервная система, другой — богатая сеть мелких кровеносных сосудов, известная как капилляры. Сигналы от этих двух источников интегрируются в терморегуляторной части гипоталамуса. Если показания говорят, что тело слишком холодное, капилляры сужаются, сохраняя тепло; если слишком жаркое — капилляры расширяются. Одновременно гормональные сообщения посылаются в потовые железы, приказывая им выделять влагу — пот — через поры кожи. Когда это происходит, сигналы в мозг могут подсказывать поведенческие изменения, такие как одевание или раздевание, при этом, конечно, поддерживаются «сдерживания» Кашинга. Кровоснабжение, поступающее в гипоталамус, предоставляет постоянную проверку внесенных изменений и, если необходимо, указывает гипоталамусу необходимые секреции для корректировки температуры. И снова мы можем только восхищаться эффективностью системы, которая развивалась миллионы лет.

## Постоянная температура

Мы разделяем характеристику постоянной температуры тела с млекопитающими и птицами, другими т.н.. «теплокровными» животными. Конечно, не только кровь теплая, и не все так однозначно. В биологии проводится разделение между гомойотермами и пойкилотермами, от греческих слов *homos*, что означает «одинаковый», в отличие от *poikilos*, что означает «переменный», а также *therme*, что означает тепло или температура. Гомойотермы — это птицы и млекопитающие — имеют высокий уровень обмена веществ, генерируют тепло изнутри и обладают сложными механизмами охлаждения для поддержания постоянной температуры тела, в то время как пойкилотермы — все другие животные — этого не делают. Однако есть исключения из этого правила; например, некоторые теплокровные животные значительно понижают свою температуру тела, как это происходит при известной зимней спячке. Но это разделение является очень хорошим приближением, достаточным для того, чтобы задаться вопросом, почему гомойотермия эволюционировала. Это требует более сложного мозга с более сложными механизмами контроля, и этот механизм был принят лишь очень небольшим процентом известных видов. Нет единого ответа на вопрос, почему они это сделали, есть только набор гипотез.

Начало поддержания постоянной температуры тела у некоторых животных, похоже, совпадает с переходом к жизни на суше от более раннего водного существования. Жизнь под водой в значительной степени защищена от изменений погоды. В частности, температура окружающей среды в глубокой воде остается довольно стабильной. Напротив, существа, живущие на поверхности Земли, сталкиваются с температурными колебаниями в течение двадцати четырех часов, переживая день и ночь, дождь и солнце, ветер и бурю. Кроме того, жизнь на поверхности развилась до такой степени, что многие животные должны быстро принимать сложные решения.

Представьте себе, как ранний предок человека убегает от льва по саванне. Во время бега все конечности должны двигаться скоординированно, в то время как мозг оценивает лучшую стратегию выживания. Бежать или повернуться и сражаться с примитивной дубинкой? Насколько далеко то дерево и сколько у меня шансов залезть на него до того, как лев меня догонит? Что насчет шансов выжить у моей семьи, и придет ли еще кто-то из моего клана на помощь? Стоит ли прыгать в реку, или мне угрожает опасность попасться крокодилу? Все эти расчеты происходят, пока конечности двигаются, тело потеет, а легкие напряжены. И лев, и человек должны действовать параллельно, и решения должны быть интегрированы в выбранный маршрут для выживания.

Главным контролем, который направляет мысли и действия человека, является мозг — фантастически сложная схема из ста миллиардов взаимосвязанных нервных клеток; сопоставимое количество находится в черепе льва. Сложные химические реакции, которые активируют передачу и восприятие сигналов, зависят от температуры, как и различные гормональные сообщения, посылаемые в специализированные органы. Поскольку вся схема зависит от температуры, поддержание постоянной температуры тела — с небольшой гибкостью для особых обстоятельств — является наилучшим эволюционным выбором для животных, таких как мы. Колебания температуры мозга приведут к непредсказуемым реакциям, которые могут не произойти в том же порядке, если обучение происходило при другой температуре мозга. Мозг человека и других млекопитающих, а также птиц — эти удивительные инструменты — работают так хорошо, потому что они находятся в защищенной и контролируемой среде. Более простые животные с гораздо менее сложными мозгами оптимизировали свои возможности выживания другими способами, но постоянная температура тела лучше для нас.

Возвращаясь к примеру с нашим предком, который пытается принять решение, будучи преследуемым львом, он (или, возможно, она) не хотел бы, чтобы его руки пытались залезть на дерево, в то время как ноги продолжали бы бегать, или чтобы глаза видели камень, а нос думал, что это лев. Это также не время для того, чтобы решить, что будет неплохо перекусить. Напротив, лев принимает именно это решение, при этом стараясь убедиться, что он преследует человека, а не что-то неперевариваемое. Шансы на выживание и передачу своих генов следующему поколению увеличиваются, когда механизмы для многократных, одновременных решений и действий становятся гибкими, быстрыми и в то же время надежными. Мозг, работающий при постоянной температуре, способствует этому процессу.

Я не хочу утверждать этим примером, что элементарное взаимодействие хищник/жертва требует сложного мозга с постоянной температурой. Это явно не так. Мозги таких организмов, как человек и лев, работают лучше при постоянной температуре, но причины для таких сложных мозгов лежат в исключительно сложных действиях, многих из которых социального и организационного характера, которые эти существа выполняют в течение своей жизни.

Постоянная температура мозга — не единственная причина гомойотермии. Химические реакции обычно происходят быстрее по мере повышения температуры, поэтому более высокие настройки внутреннего термостата тела обеспечивают более высокую активность — до определенной точки. Когда избыток тепла не может быть отведен, и информация поступает слишком быстро, система выходит из строя. За последние несколько миллионов лет мы, а также другие млекопитающие и, конечно, птицы, кажется, нашли, что функционируем наиболее эффективно при температуре около 37,80С.

Один из моих друзей-физиологов подсказал мне подумать о сексуальном поведении, когда сталкиваешься с загадкой поведения животных. Гормональные реакции, которые контролируют спаривание, размножение и бесчисленные другие команды, работают лучше при высокой постоянной температуре у теплокровных животных. Мы даже можем обратиться к температуре для ответа на такие тонкие вопросы, как почему у самцов есть яички во внешнем мошонке, а не в более защищенной брюшной полости. Предположительно, для производства спермы предпочтительна несколько более низкая температура, чем 37 градусов.

Учитывая, что человеческое тело работает наиболее надежно, если поддерживается при постоянной температуре, почему эта температура составляет 36,6 градусов? Примерный ответ — это смесь эволюционных аргументов, сочетающихся с простым пониманием того, как работает наш метаболизм. Большинство машин довольно неэффективны, и тела млекопитающих — не исключение. Обычно более 70 процентов энергии, поступающей в тело, преобразуется в тепло. Это тепло затем необходимо рассеивать в окружающую среду, иначе тело, как и любой перегруженный двигатель, перегреется и перестанет функционировать должным образом. Мы чувствуем себя наиболее комфортно при внешних температурах примерно на 20-30 градусов ниже температуры нашей кожи, потому что это создает комфортную скорость потери тепла; если холоднее, мы теряем тепло слишком быстро, если теплее, мы удерживаем слишком много. Мы компенсируем это добавлением одежды, одеял и мышечной активности, такой как дрожь; мы компенсируем тепло чрезмерным потоотделением, размахивая веером или под вентилятором и, когда это возможно, просто расслаблением.

Механизмы производства тепла сложны, что является еще одной сложностью для мозга. Когда тело находится в покое, мозг и внутренние органы, такие как сердце, легкие и почки, производят более двух третей тепла тела, хотя составляют менее 10 процентов массы тела. В движении выделяемое мышцами тепло может увеличиться в десять раз, становясь основным источником тепла. Тем не менее, несмотря на эти драматические изменения в тепловыделении, температура тела остается довольно постоянной, а базовые инстинктивные реакции остаются предсказуемыми. Это достигается способностью тела быстро увеличивать передачу тепла в окружающую среду, пока его собственное тепловыделение возрастает.

Механизмы теплопередачи сложны по своей структуре, но основной физический принцип заключается в том, что тепло всегда переходит от более горячих объектов к более холодным. Все объекты излучают и поглощают тепло, эффективнее это происходит, если они темные, и менее эффективно, если светлые: вам холодно в большой комнате с каменными стенами, температура которых ниже температуры тела, и тепло, если те же стены выше температуры тела.

Проводимость тепла — это просто вариация того же самого утверждения, применяемого к двум объектам, касающимся друг друга; тепло всегда переходит от более горячего объекта к более холодному. Как при излучении, так и при проводимости скорость потока, по крайней мере для температурных различий, не слишком больших, пропорциональна этому различию — правило, которое в старых книгах называется Законом Ньютона о тепловом потоке. Вы теряете тепло от металлического стержня в вашей руке в два раза быстрее, если стержень при 25,6 градусах, чем если стержень при 31 градусе, потому что один на 11 градусов ниже 36,6, а другой отличается только на 5,6 градусов. Комната с каменными стенами при 14,4 градусах кажется холоднее той же комнаты со стенами при 25,6 градусах.

Иногда утверждается, что наша температура тела установлена на 36,6 градуса по той же причине, что мы чувствуем себя комфортно в комнате при 21 градусах. Немного более двух миллионов лет назад люди появились в Африке в местах, где средняя дневная температура составляет около 21 градусов. Таким образом, температура тела выше 36 оптимизирует необходимое рассеивание тепла, генерируемого метаболическими процессами, во время таких видов деятельности, как охота и сбор пищи, характерных для людей в тех климатах. Вы можете вычислить скорость, с которой тело производит тепло в процессе обычной деятельности, и также вычислить скорость, с которой тело передает тепло в окружающую среду при температуре 21 градусов. Оба показателя зависят от температуры тела: простая оценка показывает, что два этих показателя примерно совпадают при температуре 36,6, точке, где тепло, поступающее в тело, равняется теплу, исходящему из него. Позднее люди расширили свои возможности терморегуляции для холода, нося меха и используя уникальное умение — разжигать огонь.

Эта адаптация к климату, однако, может быть лишь малой частью причины нашей температуры тела 36,6. Почти все другие птицы и млекопитающие, с предположительно совершенно различной эволюционной историей, стабилизировались на более или менее одной и той же температуре. Основные причины гомойотермии заключаются в оптимизации сложного набора химических реакций, которые позволяют нам и этим другим животным выполнять сложные действия в нашей жизни.

## В Сахаре

Эффективные механизмы охлаждения так же важны, как и механизмы обогрева, для поддержания постоянной температуры тела. Буквальное применение идеи о том, что тепло течет только от более горячих объектов к более холодным, означает, что без некоторых механизмов регулирования мы бы перегрелись до неприемлемой температуры и погибли бы, если бы оказались в среде с температурой 41 градусов. Вместо этого мы выживаем. На самом деле, как мы увидим позже, люди вполне хорошо выживают даже в еще более высоких температурах в огромной Сахаре.

Испарение — это способ теплоотвода, уносящий около 25 процентов тепла, вырабатываемого нашим метаболизмом, даже в холодных условиях, и больше, когда температура повышается. Чтобы понять, как работает испарение, подумайте о наших телесных жидкостях как о бассейнах с жидкостью — молекулы воды двигаются и сталкиваются друг с другом. Оказывается, что температура воды может быть связана со средней энергией движения (так называемой кинетической энергией) этих молекул. Если некоторые из более быстрых молекул воды уходят, средняя энергия оставшейся жидкости, которая затем уравновешивается проводимостью, снижается, и общая температура жидкости падает. Вот почему испарение охлаждает, но этот процесс работает только тогда, когда воздух над жидкостью достаточно сухой. Если быстрые молекулы водяного пара возвращаются в жидкость так же быстро, как они покидают её, охлаждающий эффект устраняется.

Процесс испарения так важен из-за большого количества тепла, которое поглощается при превращении воды в пар. Калории — это единицы тепла. Нужно одну калорию, чтобы поднять один грамм воды на 1 градус Цельсия, или 100 калорий, чтобы довести воду от 0 до 100 градусов Цельсия. Но для того чтобы превратить один грамм воды при 100 градусах Цельсия в один грамм пара при той же температуре, нужно больше 500 калорий. Другими словами, количество тепла, используемое для простого перехода от воды к водяному пару, в пять раз больше, чем то, которое требуется для перехода от замерзания до кипения. Это означает, что превращение воды в пар в теле — это очень эффективный способ охлаждения.

Неудивительно, что животные, которым нужно понизить свою температуру, используют этот основной механизм, адаптируя его к своим нуждам в почти бесконечном количестве изобретательных способов. Один из способов помочь процессу охлаждения с помощью испарения — это махать себя веером, или сдувать более быстрые молекулы воды, как только они покидают поверхность, прежде чем они вернутся в жидкость. Это тот же процесс, который мы используем, когда дуем на поверхность чашки с кофе или слишком горячей миски с супом.

Конечно, люди превратили это из необходимости в украшение: форма следует за функцией, а украшение — за формой. От латинского vannus веер — это наш самый древний известный инструмент для охлаждения. В одном барельефе в Британском музее изображен Сеннахериб, которого веерят большими перьями, давно уже превратившимися в пыль. Но ручки — от почти двух тысяч лет до н. э. — сохранились. Складной веер, который так элегантно открывается и закрывается с щелчком запястья, кажется, впервые появился в Японии, а затем в Китае, где было почетным, чтобы выдающийся гость написал короткое послание на вашем веере в честь особого события. Королева Елизавета I Английская была изображена на портрете с большим перьевым веером. К XVIII веку вееры стали настолько модными, что в крупных городах Европы появились художники, которые только и делали, что украшали вееры. Ручки вееров вырезались из слоновой кости и перламутра, с украшениями из драгоценных камней и установленными линзами на конце. На балах была установлена изысканная этика сигнализации с помощью положения веера, своего рода семафорный код. Но прежде всего, веер был и остается самым простым инструментом для охлаждения.

Пчелы также используют метод обдувания. Температура в их ульях тщательно регулируется. Летом они охлаждают улей, обдувая улей своими крыльями для стимуляции циркуляции, но когда температура достигает 27 градусов, обдув становится недостаточным. Тогда пчелы покидают улей в поисках воды. Вернувшись, они разбрызгивают воду, образуя тонкие пленки и капли, которые затем обдувают, выгоняя влажный воздух из улья. Э. О. Уилсон приводит эксперимент, в котором пчелы, имеющие неограниченный доступ к воде, смогли поддерживать температуру улья 29 градусов, хотя температура снаружи достигала 71 градусов. Это не жара не допускает пчел в пустыню, а нехватка в пустыне воды.

Обдув ускоряет охлаждение, но первым шагом, очевидно, на поверхность должна выступать влага, с которой она может испаряться. Кегуру и крысы облизвают себя, позволют слюне испаряться, чтобы как-то охладиться, но двумя самыми широко используемыми техниками испарения являются быстрое дыхание и потоотделение.

Птицы не имеют потовых желез, а некоторые млекопитающие, такие как собаки, имеют их очень мало; они полагаются на быстрое, поверхностное дыхание, называемое panting, чтобы стимулировать испарение из их горла. Эта техника имеет несколько преимуществ, одно из которых далеко не очевидно: она буквально помогает поддерживать голову в прохладе. Маленькая газель из Восточной Африки, бегущая по равнинам на полной скорости в течение пяти минут, генерирует столько внутреннего тепла, что ее температура тела повышается с 39 градусов до чуть более 43 градусов. Тем не менее, ее мозг, получающий артериальную кровь, поступающую из тела при 43 градусах, остается более чем на 5 градусов холоднее. Эта изобретательная адаптация охлаждения мозга является побочным продуктом быстрого дыхания животного в полете. Основной сосуд, который отводит кровь от тела к мозгу, — это сонная артерия, которая разветвляется на сотни мелких артерий у основания черепа, прежде чем снова объединиться, когда она входит в мозг. В проходе, в котором она разветвляется, кровь охлаждается благодаря быстрому потоку воздуха в прилегающем горле. Этот интересный механизм охлаждения идеально подходит для поддержания оптимального функционирования способности животного принимать решения в момент бегства. Газель сохраняет приблизительно постоянную температуру мозга, даже когда остальная часть тела нагревается. Таким образом, усилия животного в первую очередь направлены на поддержание постоянной температуры в центре управления — мозге. Остальная часть тела имеет немного большее терпение.

У panting есть еще одно преимущество по сравнению с потоотделением. Жидкость, выделяющаяся с потом, уносит ценные соли; отсюда и обычные рекомендации пить жидкости, содержащие подходящие минералы, когда вы сильно потеете. В случае с panting, с другой стороны, минералы из слюны остаются в организме. Однако у panting есть свои недостатки, один из которых — это необходимость мышечной активности, которая сама по себе генерирует тепло. (Это частично ослабляется благодаря быстрому поверхностному дыханию.) Нет идеальных решений. Все они — адаптации, которые животные развивали на протяжении долгих периодов времени, чтобы оптимизировать свои шансы на выживание.

Большинство крупных млекопитающих потеют, некоторые более заметно, чем другие. Даже верблюды потеют, хотя это не сильно заметно в сухом пустынном воздухе, потому что водяной пар исчезает почти мгновенно. Люди почти полностью утратили свою шерсть, оставив голую кожу. Этот наружный покров имеет около двух миллионов потовых желез, распределенных по всему телу, с более высокой плотностью в ладонях и низкой плотностью в других областях. Под контролем гипоталамуса железы выделяют слегка соленую жидкость. Это выделение не является добровольным и не стимулируется исключительно окружающей средой; стресс или нервозность также вызывают потоотделение. Тем не менее, это очень эффективный механизм охлаждения, когда повышенная метаболическая активность генерирует тепло, которое нужно быстро рассеивать. Повышенное потоотделение может быть нежелательным, когда вы в чистой рубашке и брюках по пути в офис, но быстрое охлаждение, чтобы помочь в бегстве, могло быть очень полезным для наших предков, выживающих в дикой природе.

Есть предостережение по поводу эффективности охлаждения потоотделением, с которым мы уже столкнулись: больше быстрых молекул должно покидать поверхность тела, чем возвращаться. Если внешний воздух слишком влажный, пот скатывается с тела без необходимого испарительного охлаждения.

Обезвоживание также может стать проблемой. В среднем мы производим около литра пота в день, даже если не осознаем этого, хотя эта цифра может опуститься до почти нуля или подняться до четырех галлонов в зависимости от погоды и уровня активности. Потеря такого количества жидкости несет опасность серьезного обезвоживания, что может потребовать внутривенного восполнения жидкости.

В одной из регулярных статей "Комментариев", которые Филип Моррисон писал для Scientific American, он иллюстрирует силу потоотделения и обдува, рассматривая велосипедистов Тур де Франс. Моррисон рассказывает, как великий Эдди Меркс, пятикратный победитель Тур де Франс, выступал в лабораторном эксперименте, в котором он катался только на стационарном велосипеде. Человек, который мог кататься вверх и вниз по холмам день за днем по шесть часов подряд, испытал серьезный перегрев после одного часа в зале без ветра.

Почему? Моррисон делает расчеты.

Велосипедисты потребляют количество пищи, эквивалентное восьми обедам в день, чтобы удовлетворить потребности в энергии, так как во время велогонок они тратят около тысячи калорий в час — в десять раз больше, чем при сидении за столом.

( Одна Калория — это количество тепла, необходимое для того, чтобы поднять температуру воды на 1 градус Цельсия. Технически, вода должна быть при 15 градусах, но это тонкости.)

В течение двадцатидневной гонки Тур де Франс велосипедисты не набирают и не теряют в весе, так что куда же уходит вся энергия? Только 25 процентов уходит на механическую работу, преодоление сопротивления воздуха и продвижение велосипеда и гонщика вперед. Полные 75 процентов рассеиваются как лишнее тепло тела — так много тепла, что гонщику нужно около 10 литров воды, чтобы она испарилась с его кожи каждый день гонки. Только в этом случае он сможет поддерживать постоянную температуру тела. Это требует постоянного питья, но гонщику также нужен сильный ветер, чтобы помочь испарению; скорость 25 миль в час или больше обеспечивает этот ветер. Без ветра — насыщение паром, без испарения, и накопление тепла. Результат — Эдди Меркс, который может ехать на высокой скорости в течение восьми часов, упадет с стационарного велосипеда от усталости через 60 минут. Занимающиеся на велотренажерах могут подтвердить тот же эффект.

Испарительное охлаждение также является ключом к выживанию в великой пустыне Сахара, где температуры поднимаются выше 54,4 градусов. Не нужно беспокоиться о насыщении водяного паром в очень сухом воздухе пустыни. Человек потеряет два галлона жидкости в день, просто сидя в тени сахаро-фига, тихо обдувая себя веером. До четырех галлонов могут испариться за день умеренной физической активности. Экстремальные упражнения исключены. И это водоснабжение нужно постоянно пополнять: первые симптомы обезвоживания появляются после потери пинты, усталость и жар начинаются после потери 4 л. Через 8 л появляются головокружение и трудности с дыханием, а через 11 л наступает точка невозврата, если не будет оказана срочная медицинская помощь и внутривенная регидратация.

Без пополнения воды однодневная ходьба по Сахаре — это смертельно.

Тем не менее, люди живут в пустыне. Часть адаптации к жарким, сухим климатам может быть достигнута почти любым человеком в течение пяти-десяти дней при постепенном воздействии, несколько часов в день, на высокие температуры. По сути, человек тренирует свое тело, чтобы потеть больше. Как говорят физиологи и эксперты по температуре животных Карл Гизольфи и Франциско Мора, «это, возможно, самое замечательное физиологическое приспособление, которое человек способен совершить, и оно в значительной степени связано с эволюцией потовых желез».

Не только уровень потоотделения увеличивается в этой адаптации, но и сам пот становится менее соленым. Это выполняет двойную функцию: сохраняет натрий, калий и другие минералы в поте, которые тело нуждается для нормального функционирования, и увеличивает жажду, что, в свою очередь, стимулирует большее питье. Больше питья воды означает большее испарение и более холодное тело.

Людям, живущим в пустыне, также помогает в борьбе за выживание уникальное животное, которое может пить почти 120 л воды за десять минут и затем распределять её по своему телу. Это животное — конечно, верблюд, замечательный пример адаптации к жизни в пустыне. Он хранит воду, а затем запасает её: он может жить две недели без воды, выживая за счет внутренних запасов. Верблюд также помогает себе с помощью ряда стратегий сохранения воды; например, его моча и фекалии имеют очень мало жидкости, и он обычно держит рот закрытым и сужает ноздри до щелей. Однако самой выдающейся адаптацией этого замечательного животного является его способность адаптировать свой термостат в зависимости от уровней внутренней жидкости. Верблюд с полным запасом воды будет поддерживать свою температуру тела стабильно между примерно 36 и 38 градусами, полагаясь на испарение для охлаждения. Если его водоснабжение ограничено, он сдвигает допустимый диапазон температуры, опуская его до 34 градусов ночью и повышая до 41 градусов в самый жаркий период дня. Способность переносить значительно более высокую температуру тела, находясь на солнце, снижает необходимость в испарительном охлаждении. Накопленное за день тепло затем сбрасывается по возможности ночью. Вот пример животного, которое предпочитает поддерживать постоянную температуру тела. Однако, если оно подвергается стрессу, оно адаптируется к новым условиям.

Умные путешественники по пустыне обнаружили, что испарение также помогает сохранять воду прохладной. Чудеса испарения, даже в пустынном климате, не ускользнули от внимания Бенджамина Франклина, человека, который, похоже, был любознателен по поводу того, как работает практически все, от правительств до молниеотводов. Находясь в Англии и защищая права американских колонистов, Франклин, который, кстати, также основал университет, в котором я преподаю, проводил эксперименты, в которых он смачивал термометр эфиром. Затем он обдувал его с помощью меха, пока на шарике термометра не начала образовываться тонкая корочка льда. В письме от 17 июня 1758 года своему другу Джону Лайнингу, Франклин описывает некоторые из своих экспериментов и размышляет о том, что уже узнали путешественники по пустыне:

«Из этого эксперимента можно увидеть возможность того, что человек может замерзнуть в тёплый летний день, если он будет стоять в проходе, через который быстро дует ветер, и его будут часто смачивать эфиром, спиртом, который более воспламеняем, чем бренди или обычный спирт. Лишь в последние несколько лет европейские философы, похоже, узнали об этой силе природы — охлаждении тел через испарение. Но на востоке они знали об этом давно. Друг рассказывает мне, что в одном отрывке из «Путешествий по Индостану» Бернье, написанных почти сто лет назад, упоминается, что при путешествиях по сухим пустыням в том жарком климате носили воду в флягах, обернутых влажными шерстяными тканями, повешенных на теневой стороне верблюда».

Затем Франклин продолжает размышлять о своей способности выдерживать летние дни в Филадельфии, когда температура поднималась до 38 градусов. (Я сам пережил много таких филадельфийских дней, поэтому мне особенно интересны его размышления на эту тему.) Он приходит к выводу, что охлаждающая сила испарения и делает разницу или, как он выразился:

«Я полагаю, что мертвое тело приняло бы температуру воздуха, хотя живое тело, с помощью непрерывного потоотделения и испарения этого пота, сохранялось холодным. Может быть, это и есть причина, почему наши жнецы в Пенсильвании, работая в открытом поле под ясным жарким солнцем, которое часто бывает в наше время жатвы, способны выполнить эту работу, не чувствуя сильного дискомфорта от жары, пока продолжают потеть, а также помогают потоотделению, часто попивая воду, смешанную с ромом; но если потоотделение прекращается, они падают, и иногда умирают внезапно, если не восстановить потоотделение».

Следует добавить, что Бенджамин Франклин, будучи всегда практичным, также интересовался тем, как сохраняться в тепле, когда на улице холодно. Это подтверждает печь Франклина.

## В Антарктиде

Как и в случае с охлаждением, у людей есть несколько механизмов адаптации для создания и сохранения тепла. В то время как дрожь вызывает дополнительное внутреннее тепло, наша внешняя оболочка помогает, стараясь минимизировать потерю тепла наружу. Когда организм подвергается стрессу от холода, кровоток к поверхности тела быстро сокращается, и температура кожи падает. Это уменьшает теплопередачу наружу, так как разница температур между воздухом и кожей уменьшается. В определенном смысле, наружная часть нашего тела пытается образовать изолирующий слой для жизненно важных внутренних органов. Это краткосрочная защита от холода.

Есть также долгосрочные адаптации человека к холодной погоде, такие как добавление немного лишнего жира зимой, хотя они и близко не напоминают удивительную способность к спячке, которой обладают некоторые млекопитающие и птицы. В состоянии спячки животное понижает свою температуру тела как минимум на 20 градусов и обходится без пищи и воды в течение месяцев. Медведи могут находиться в спячке до шести месяцев. В течение всего этого периода животное сохраняет способность по желанию возвращаться к нормальной температуре тела и возобновлять нормальный метаболизм без внешних источников тепла.

Многие исследования иллюстрируют долгосрочную метаболическую адаптацию человека к жаре, но сравнительно немногие показывают, как человеческое тело приспосабливается к неудобно холодным условиям. Лучший изученный случай, который мне известен, это случай японских и корейских женщин, зарабатывающих на жизнь круглогодичными погружениями в глубокие океанические воды для добычи морской флоры и фауны. Эти женщины, известные просто как *ама*, начинают свою карьеру в раннем подростковом возрасте и продолжают погружаться до шестидесяти лет. Сейчас они носят гидрокостюмы, но до конца 1960-х годов ныряли в воду с температурой 10 градусов Цельсия в простых хлопковых костюмах. Исследования, проведенные Суки Хонг в 1960-х годах, показали, что зимой эти женщины увеличивали свои метаболические показатели на 30%. Предполагается, что цель этого заключалась в создании дополнительного внутреннего тепла для компенсации потерь, возникающих во время погружений. Аргумент о том, что это была акклиматизация к холоду, подтверждается тем, что *ама* перестали увеличивать свои метаболические показатели, как только начали носить гидрокостюмы.

Плавание или ныряние — особенно интересный случай, поскольку фактор испарения исключен из расчетов нагрева и охлаждения. В 1987 году великая пловчиха на длинные дистанции Линн Кокс решила переплыть расстояние в 2,4 мили между двумя островами в Беринговом проливе — один из которых находится на Аляске, а другой в Сибири. Таким образом, она пересекла Международную линию перемены дат и символически соединила Соединенные Штаты с Советским Союзом. Сильные течения означали, что эффективное расстояние могло быть больше пяти миль, что все равно не являлось проблемой для сильной пловчихи, как Кокс. Но температура воды была другой проблемой. Она составляла 6 градусов Цельсия на поверхности, но из-за перемешивания глубинной воды могла достигать 1 градуса в некоторых местах. Это было плавание на длинные дистанции в ледяной воде.

Перед отправлением Кокс приняла термочувствительную капсулу с передатчиком, чтобы врач на сопровождающей лодке мог контролировать, не развивается ли у нее гипотермия — потенциально смертельное состояние, которое возникает, когда температура тела падает ниже 34 градусов. Она завершила плавание чуть более чем за два часа, поддерживая нормальную температуру тела в течение всего этого времени. Михаил Горбачев упомянул о ее мужестве в своей речи на банкете в Белом доме позже в том же году: «Она своим мужеством доказала, насколько близко живут наши народы».

Как Кокс это сделала? Отчасти ее успех объясняется телосложением, идеально подходящим для такого плавания. При росте 167 сантиметров и весе 82 килограмма у нее был процент жира почти вдвое выше, чем у средней женщины. Кроме того, жировой слой был равномерно распределен, создавая естественный термоизоляционный слой между ее внутренними органами и холодным внешним окружением. Это объясняет, как она выжила, хотя, конечно, дух этой женщины также сыграл огромную роль.

Изоляционный слой Кокс, каким бы замечательным он ни был, бледнеет по сравнению с тем, что есть у тюленя-гренландца. Эти великолепные пловцы поддерживают температуру тела на уровне 36 градусов Цельсия и неизменный метаболизм даже в замерзших арктических водах. Их защищает слой жира толщиной в четверть дюйма, находящийся непосредственно под кожей. После прохождения этого слоя температура тела тюленя практически идентична температуре его ядра. Другими словами, температура кожи тюленя-гренландца практически такая же, как температура окружающей воды, но четвертьдюймовая изоляция позволяет сохранять разницу до 70 градусов между внешним и внутренним температурами.

Если вы думаете о жировом слое тюленя просто как о гидрокостюме серфера, задумайтесь, как тюлень умудряется выживать в теплых водах без каких-либо существенных изменений метаболизма. Секрет? Жировой слой пронизан системой капилляров, которые закрываются, когда тюлень плавает в холодной воде, и открываются, когда он перемещается в теплой воде, активно тренируется или греется на солнце на камне. Это не герметичный гидрокостюм, а активный и чрезвычайно эффективный терморегулятор.

Хотя большинство адаптаций человека к холоду, как показало исследование Хонг об *ама*, связаны с увеличением внутреннего метаболизма, я не удивлюсь, если узнаю, что пловцы, тренирующиеся в холодной воде для пересечения Ла-Манша, развивают слегка улучшенную способность сокращать капилляры кожи. Тем не менее мы очень сильно отличаемся от тюленей.

Согласно физиологу Кнуту Шмидт-Нильсену, разница в механизмах охлаждения между водными и наземными животными заключается в расположении изоляционного слоя и кожи — органа, через который тепло рассеивается наружу. У тюленей изоляционный слой, жир, находится под кожей. У наземных животных изоляция — мех — находится снаружи. У людей же адаптация представляет собой гибридный средний путь, хотя мы явно склоняемся к наземным механизмам.

Экстремальные температурные приключения, такие как у Линн Кокс, подчеркивают механизмы, которые мы используем для нагрева и охлаждения. У всех нас есть любимые истории об экстремальных условиях, но истории о выживании в ледяном снегу — переживания исследователей Южного полюса и альпинистов на самых высоких горах мира — трогают меня больше всего.

Первый шаг к тому, чтобы оставаться в тепле в арктическую погоду, — это хорошая одежда. Одежда, конечно, не простое дело; эволюция одежды и средств защиты сделала огромный прогресс с развитием легких синтетических волокон, что мне напоминает всякий раз, когда я смотрю на деревянный ледоруб, парусиновую палатку и шерстяную одежду, которые использовал мой тесть-альпинист в экспедиции в Гималаи в 1930 году. Ключ к хорошей одежде в очень холодном климате — это помнить, что воздух плохо проводит тепло. Вы можете видеть это на примере двойных окон, которые хорошо изолируют. Однако движение воздуха или ветер, если их не нейтрализовать, непрерывно заменяют теплый слой воздуха, окружающий ваше тело. Много слоев одежды или взбитая, желательно сухая, куртка с наполнителем сохраняют теплый термический слой неподвижным.

По чистой стойкости немногие истории могут сравниться с антарктическим рассказом Апсли Черри-Гаррарда, описывающим его переживания в качестве члена злополучной экспедиции Роберта Скотта 1910 года. Глава под названием «Зимнее путешествие» описывает шестинедельное зимнее антарктическое путешествие, которое Черри-Гаррард и двое его спутников предприняли по льду, чтобы добраться до колонии больших императорских пингвинов. Они считали, что эти пингвины являются важным эволюционным звеном между птицами и рептилиями.

Они также думали, что будет особенно важно изучить яйца пингвинов, чтобы определить их эмбриональное развитие. Дополнительная сложность заключалась в том, что гнездо пингвина — это сам пингвин. Эти редкие птицы откладывают яйца, удерживают их на своих лапах для безопасности и прижимают их своими грудями, чтобы обеспечить тепло — всё это в разгар антарктической зимы.

Трио отправилось из зимнего убежища экспедиции на поиски пингвинов, волоча за собой две сани с 750 фунтами снаряжения (погода была слишком суровой для использования собак). Черри-Гаррард был настолько близорук, что практически слеп без очков, но он не мог их носить, так как они мгновенно замерзали. Однако это не было проблемой, так как в Антарктиде в июле нет солнечного света.

Температура регулярно опускалась до -57 градусов по Фаренгейту и однажды достигла -60. У всех троих были обморожения и большие волдыри, содержимое которых превращалось в лед, но они продолжали идти. Как говорит Черри-Гаррард:

Проблема — это пот и дыхание. Я никогда раньше не знал, сколько отходов тела выделяется через поры кожи. В самые морозные дни, когда мы должны были останавливаться на стоянку после четырехчасового марша, чтобы отогревать замерзшие ноги, казалось, мы все равно потели. И весь этот пот, вместо того чтобы постепенно испаряться через пористую шерсть нашей одежды, замерзал и накапливался. Он отдалялся от нашего тела и становился льдом.

Черри-Гаррард осознает это в начале поездки. Позже он описывает, как вышел из палатки, чтобы тянуть сани:

Оказавшись снаружи, я поднял голову, чтобы осмотреться, и понял, что не могу ее опустить. Моя одежда замерзла за то время, что я стоял, — возможно, пятнадцать секунд. В течение четырех часов мне пришлось тянуть с поднятой головой. С тех пор мы всегда склонялись в позицию для тяги, прежде чем замерзнуть на месте.

Спальные мешки замерзли и оставались замерзшими, превращаясь в гроба изо льда, в которых было почти невозможно спать. Несмотря на всё это, они завершили путешествие и даже принесли три яйца императорского пингвина. Участники экспедиции Скотта вернулись в Англию как раз к началу Первой мировой войны, но, как выразился один из членов антарктической команды, «окопы под Ипром были сравнительно пикником».

Кстати, эта история напоминает нам, что потоотделение может происходить при любой температуре.

Продолжая читать эту историю, я начал больше думать об императорских пингвинах, задаваясь вопросом, как они умудряются выживать, сидя на льду и высиживая своих птенцов. Ответ оказывается с парой интересных нюансов.

Эти крупные птицы, весящие до 80 фунтов, являются самыми устойчивыми к холоду из всех известных птиц. Кроме того, несмотря на то что они питаются исключительно в море, колонии, где они откладывают яйца, могут находиться в 50 и более милях от открытой воды, что требует долгого перехода по льду для этих неуклюжих пешеходов.

Хотя яйцо откладывает самка, она почти сразу возвращается к морю, чтобы восстановить свои запасы пищи, и возвращается к колонии только тогда, когда яйцо вылупляется. Перед уходом она кладет яйцо на лапы самца, который накрывает его своим телом, оберегая и согревая своего наследника в течение двух месяцев. В этот период неподвижности самец не принимает пищи и не имеет очевидной защиты от суровых условий антарктической зимы.

Как же самцу удается выдерживать голод, и как вылупившийся птенец выживает в жестоком холоде? Самец не делает резких изменений в метаболизме; во время голодовки он теряет более трети своего веса, что является топливом для выживания. Быстрый расчет показывает, однако, что ему потребовалось бы почти вдвое больше жира, чтобы выжить два неподвижных месяца в колонии, так что это не может быть единственным объяснением.

Недостающий элемент чрезвычайно прост: пингвины сбиваются в плотные группы, защищая друг друга от холода и ветра. После вылупления птенцы также сбиваются в группы, пока не будут готовы отправиться к морю. Пингвины нашли простое и элегантное решение, которое используют бесчисленные другие виды всех размеров и форм.



Императорские пингвины, сбившиеся в кучу для сохранения тепла на антарктическом льду

Хотя убежища пингвинов мало изменились, человеческие убежища в Антарктиде теперь совершенно не похожи на те, что были во времена Черри-Гаррарда. На станции Южного полюса есть сауна и клуб «Триста градусов» с эксклюзивным членством.

Чтобы вступить в клуб, необходимо подвергнуть свое тело изменению температуры на 300 градусов менее чем за минуту. Для этого вы сидите в сауне с температурой +205 градусов, а затем выбегаете на улицу обнаженным при температуре -100 градусов, слушая, как потрескивает ваша кожа. Вы делаете паузу, а затем спешите обратно внутрь.

Ни один другой вид животных не живет везде — от полюсов до экватора, и ни один не обладает такой изобретательностью, как люди. Тем не менее наши механизмы контроля иногда дают сбой. Одним из наиболее распространенных случаев такого сбоя является лихорадка.

## Когда что-то идет не так

Я вспоминаю, как гулял с мамой поздней осенью во Флоренции, где мы тогда жили. Мне было девять лет, и, несмотря на то, что я был тепло одет, я дрожал от холода. Когда я сказал маме, что плохо себя чувствую, она приложила руку к моему лбу и сказала, что у меня жар и нам нужно срочно идти домой. Затем, проходя мимо книжного магазина по пути к трамваю, она добавила, что, по её мнению, я уже достаточно взрослый, чтобы выбрать себе настоящую книгу, мою первую. Это был «Таинственный остров» Жюля Верна; следующие три дня с жаром были чудесными, и с тех пор началась моя пожизненная любовь к книгам. В книге колонисты острова даже находят «деревья от лихорадки» — деревья, которые якобы предотвращают лихорадку, хотя и не лечат её. Мое выздоровление, возможно, затянулось из-за того, что я хотел закончить читать книгу; причина моей лихорадки так и не была установлена, но, как это обычно бывает, лихорадка всё равно прошла.

На самом деле даже чудеса современной медицины часто не могут выявить причину лихорадки. Врачи говорят, что у них часто бывают пациенты с лихорадкой, источник которой нельзя обнаружить. Критерий для загадочной лихорадки таков: она должна длиться как минимум три недели при температуре не ниже 38,3 градусов Цельсия без объяснения причины, несмотря на то, что тебя обследуют на протяжении одно-двух недель в больнице. Эти загадочные лихорадки особенно проблематичны, но даже если причина болезни известна, важно фиксировать ход лихорадки.

Температура тела, кровяное давление, пульс и частота дыхания — это четыре функции, которые записываются в медицинские карты у изголовья каждой больничной койки, потому что они часто отражают ход болезни. Даже если мы не можем определить заболевание и не знаем, как его лечить, эти четыре показателя позволяют отслеживать его развитие и часто дают первые намёки на выздоровление.

Высокая температура тела представляет особенно серьёзные опасности. При острых инфекциях, таких как менингит, тиф или пневмония, неконтролируемая лихорадка может подняться до 41,7 градусов Цельсия или выше, представляя серьёзный риск для пациента независимо от болезни, вызвавшей лихорадку. Могут начаться дрожь, бред и судороги. Лечение должно быть быстрым, как говорит нам об этом «Принципы внутренней медицины Харрисона»:

«В диагностике фебрильного заболевания наука и искусство медицины объединяются. Ни в одной другой клинической ситуации тщательный сбор анамнеза не имеет столь большого значения. Особое внимание следует уделять хронологии симптомов, применению лекарств (включая те, которые принимаются без наблюдения врача) или методов лечения».

Это верно, потому что недостаточно информированное лечение лихорадки может принести больше вреда, чем пользы.

Вещества, вызывающие лихорадку, называются пирогенами, от греческого корня «пиро» (огонь), который также встречается в словах «пирексия», «пиротехника» и «пиромания». Различают экзогенные пирогены, производимые вне тела, и эндогенные, которые вырабатываются внутри организма. Пирогены, которые могут быть бактериями, вызывают лихорадку, провоцируя высвобождение в организме класса химических веществ, называемых цитокинами, которые затем переносятся по кровотоку. В конечном итоге они достигают гипоталамуса. Там, в «пружине первобытного существования» по Кушингу, они производят ещё одно химическое вещество — простагландин. Он перенастраивает терморегулятор организма на более высокую температуру, вызывая лихорадку.

При перенастройке температуры тела наблюдаются противоположные реакции на лихорадку и физическую нагрузку. В обоих случаях температура тела повышается, но при нагрузке тело потеет, пытаясь снизить температуру до нормального уровня. При лихорадке тело дрожит. Оно пытается вырабатывать внутреннее тепло с помощью непроизвольных мышечных сокращений, чтобы привести температуру тела в соответствие с новой установленной точкой; другими словами, организм «думает», что он должен быть горячее.

Есть два способа вернуть установленную температуру в гипоталамусе к норме, когда у вас лихорадка. Один из них — устранить пирогены, то есть уничтожить бактерии, которые вызывают выделение цитокинов. Второй — назначить аспирин или аналогичные препараты, которые подавляют синтез простагландина. Проще говоря, уничтожить послание или убить посланника.

Хотя аспирин в его нынешнем виде известен чуть больше века, схожие средства использовались ещё в древности. Гиппократ, которого часто называют отцом современной медицины, лечил лихорадки и боли в пятом веке до нашей эры, применяя экстракты коры ивы. Латинское название *ивы* — salix, а активный ингредиент коры — салицин. К сожалению, салицин вызывает расстройство желудка. Эта проблема была решена в 1897 году, когда химик компании Bayer синтезировал ацетилсалициловую кислоту, значительно улучшенную версию салицина. Новый продукт, названный ацетилспирином, в 1899 году был выпущен на рынок Bayer под названием аспирин. В 1915 году аспирин начали продавать без рецепта, и он имел значительно меньше побочных эффектов, чем салицин. Его ценность быстро поняли, хотя его роль в ингибировании простагландина не была признана до исследований Джона Вейна в 1970-х годах. Вейн получил Нобелевскую премию по медицине в 1982 году за свои открытия.

Однако стоит еще раз подчеркнуть, что даже с учетом всех инструментов современной медицины четкий диагноз причины лихорадки часто ускользает как от пациента, так и от врача. Иногда, к счастью, лечение проводится быстро, и улучшение происходит быстро. Но вплоть до XX века эффективных препаратов для лечения инфекций практически не существовало. Использование антибиотиков, сейчас усложнённое появлением устойчивых штаммов бактерий, насчитывает всего чуть больше пятидесяти лет.

Я не могу придумать лучшего способа подчеркнуть, насколько это недавно, чем процитировать некролог в New York Times от 9 июня 1999 года:

Энн Шифф Миллер, которая вошла в историю медицины как первый пациент, спасённый с помощью пенициллина, умерла 27 мая в Солсбери, Коннектикут. Ей было 90 лет.

В марте 1942 года миссис Миллер была на грани смерти в больнице Нью-Хейвена, страдая от стрептококковой инфекции, которая тогда часто приводила к летальному исходу. Она провела месяц в больнице, часто находясь в бреду, с температурой, поднимавшейся почти до 41,7 градуса Цельсия, пока врачи пробовали всё доступное, включая сульфаниламидные препараты, переливание крови и хирургическое вмешательство. Всё оказалось безуспешным.

Далее история ведает нам про сэра Александра Флеминга, который открыл пенициллин в 1928 году. Но терапевтические свойства пенициллина не были полностью оценены до казавшегося чудесным выздоровления миссис Миллер после его применения. К счастью для неё, причина её лихорадки была известна, и лечение оказалось доступным.

Хотя Гиппократ был первым зафиксированным в истории врачом, лечившим лихорадку, Галена можно считать самой влиятельной фигурой в ранней истории этой темы. Родившийся в семье греков в Малой Азии во время правления римского императора Адриана, Гален был выдающимся толкователем, кодификатором и учителем. Он также был чрезвычайно плодовитым автором, обобщив свои наблюдения в таких книгах, как объёмный труд *«О пользе частей тела»*. До XVII века его труды доминировали в представлениях о человеческом теле не меньше, чем работы Аристотеля в философии или Птолемея в астрономии.

Греки считали, что материя состоит из земли, воздуха, воды и огня, а базовыми сенсорными переживаниями являются тепло, холод, сухость и влажность. Исходя из этого, Гален сформулировал доктрину о четырёх основных телесных жидкостях: крови, жёлтой желчи, чёрной желчи и слизи. Каждая жидкость, которую можно представить как некий телесный сок, определяла характерные черты физиономии, поведения и даже окраску. Кровь ассоциировалась с воздухом, утром и весной; жёлтая желчь — с огнём, полуднем и летом; чёрная желчь — с землёй, вечером и осенью; а слизь — с водой, ночью и зимой. Личность или темперамент также считались связанными с четырьмя основными типами: сангвиническим, холерическим, меланхолическим и флегматическим, которые ассоциировались соответственно с кровью, жёлтой желчью, чёрной желчью и слизью. Например, картина Альбрехта Дюрера «Четыре апостола», созданные в 1526 году, вероятно, иллюстрируют эти четыре темперамента: святой Иоанн представлен как сангвиник, святой Марк — как холерик, святой Павел — как меланхолик, а святой Пётр — как флегматик.

Учитывая связь жёлтой желчи с огнём, неудивительно, что Гален считал избыток жёлтой желчи причиной лихорадки. Гуморальная медицина, которую он практиковал, стремилась восстановить равновесие. Если оно нарушалось, баланс восстанавливался с помощью тепла или холода, влажности или сухости, кормления или очищения, а также кровопускания. Гуморальная медицина сейчас переживает своего рода возрождение, иногда в сочетании с современной медициной, а иногда как производная от подобных практик, например, индийской аюрведической медицины, существовавшей за сотни лет до Галена. Хотя идея о жёлтой и чёрной желчи не должна восприниматься буквально, и лихорадка, конечно, не вызывается избытком жёлтой желчи, концепция равновесия систем организма, возможно, имеет свои преимущества.

Злокачественные микроорганизмы, проникающие в тело, могут и часто разрушают это равновесие. До того как врачи поняли природу микробов, хирургия часто приносила больше вреда, чем пользы, главным образом из-за инфекций, возникавших после операций, проводимых в нестерильных условиях. Мы должны помнить, что микробная теория болезней, в значительной степени созданная Луи Пастером, существует чуть больше ста лет.

Выдающийся микробиолог Рене Дюбо в своей биографии великого учёного приводит статистику, согласно которой десять тысяч из тринадцати тысяч ампутаций, выполненных на французских солдатах во время Франко-прусской войны, оказались смертельными. Сам Пастер, посещая больничные палаты, пришел к выводу, что передача микробов через загрязнение рук хирурга или перевязочных материалов была даже более важной, чем воздушная передача. В знаменитой лекции в Академии медицины Франции в 1878 году Пастер отметил:

«Если бы я имел честь быть хирургом, понимая опасности, которым подвергается пациент из-за микробов, присутствующих на всех поверхностях, особенно в больницах, я бы использовал только идеально чистые инструменты. После тщательной очистки рук и быстрого опаливания их огнем, что не доставило бы большего неудобства, чем ощущение курильщика, передающего раскаленный уголёк из одной руки в другую, я бы использовал только марлю, бинты и губки, подвергнутые температуре 130–150 градусов Цельсия».

Пастер осознал опасности инфекции, но молодой шотландский хирург Джозеф Листер, которому обычно приписывают заслуги в разработке и систематизации антисептической хирургии, значительно снизил риск инфекций после ран или операций. Он охотно признавал свой долг перед Пастером, написав ему в 1874 году: «Позвольте выразить мои самые сердечные благодарности за то, что благодаря вашим блестящим исследованиям вы доказали мне истину микробной теории гниения и тем самым дали мне принцип, на котором только и может быть построена антисептическая система».

Хотя мы часто думаем о бактериях как о захватчиках нашего организма, многие штаммы живут в нас мирно и не вызывают проблем. Даже пресловутая *Escherichia coli*, более известная как *E. coli,* является повсеместной. Она спокойно обитает в наших кишечниках, и найти млекопитающее, у которого не было бы этих гостей, довольно сложно. Если *E. coli* проникает за пределы кишечника, например, в мочевые пути, она может вызывать инфекции, но обычно эти проблемы не слишком серьёзны.

Некоторые штаммы *E. coli* являются патогенными, а иногда развивается особенно опасный штамм. *E. coli O157:H7* является особо вирулентным. Он был впервые идентифицирован в начале 1980-х годов, когда некоторые люди сильно заболели после употребления заражённых гамбургеров. Бактерии *E. coli* в кишечнике скота не наносят вреда животному, но процесс убоя — это сложный процесс, в котором легко может произойти загрязнение, особенно при переработке мяса. Решение оказалось простым: достаточно готовить гамбургеры при температуре 71 градус Цельсия в течение 15 секунд, чтобы убить бактерии. Тем не менее, ежегодно в США регистрируется около 75 000 случаев заражения E. coli O157:H7.

Нагрев до 71 градуса Цельсия не всегда практичен — достаточно вспомнить пример хирургов, пытающихся обеззаразить руки огнём. Это одна из тех областей, где медицина будущего может помочь. После Галена и Пастера мы подошли к эпохе геномного секвенирования. В выпуске журнала Nature от 25 января 2001 года опубликована статья, предоставляющая полный геномный анализ *E. coli O157:H7*. Как отмечают авторы: «Серьёзность заболевания, отсутствие эффективного лечения и возможность масштабных вспышек через заражённые продукты питания подтолкнули интенсивные исследования патогенеза и диагностики *E. coli O157:H7*». Секвенирование генома даёт надежду на создание более эффективных диагностических инструментов и даже методов лечения. Пока же остаётся простое решение: тщательно готовить гамбургеры.

За пределами нагрева у нас пока нет лечения для *E. coli O157:H7*, и мы также не располагаем методами лечения многих причин лихорадки. Но ещё более удивительным является то, что мы до конца не понимаем, почему у нас вообще возникает лихорадка. Очевидно, что объяснение лихорадки не может сводиться к простому факту, что повышение температуры тела на несколько градусов убивает бактерии.

Некоторые бактерии, такие как пневмококки, особенно чувствительны и плохо растут при температурах выше 41,1 градуса Цельсия (106 градусов по Фаренгейту), но, как правило, для уничтожения бактерий температура должна быть гораздо выше пределов человеческой выносливости. Стерилизация медицинских и стоматологических инструментов или приготовление мяса и птицы обычно требует температур от 71 градуса Цельсия и выше (помним совет Пастера для хирургов). Если уничтожение бактерий не является причиной повышения температуры, то что же тогда?

## Тепловые потрясения

Избыточная или длительная лихорадка вредна для пациента, но неясно, всегда ли лихорадка вредна. Если бы это было так, почему она сохраняется в течение миллионов лет эволюции? Расходы организма кажутся выше, чем выгоды: каждое повышение температуры на один градус увеличивает потребность в кислороде примерно на 7%, требует больше жидкости и создаёт дополнительную нагрузку на сердце и другие органы. Лихорадка снижает умственную функцию и может вызывать бред даже при нефатальных эпизодах. Она вызывает шок в организме, настолько сильный, что в прошлом пациентов с психическими расстройствами лечили путём искусственного вызова лихорадки. В 1927 году Нобелевская премия по медицине была присуждена Юлиусу Вагнеру-Яуреггу за его наблюдение, что после инфекции наблюдается улучшение состояния психически больных. Это исследование привело к тому, что в 1930-х годах пациентов с поздними стадиями нейросифилиса лечили малярией. Один из врачей вспоминает уход за психическими больными в начале своей карьеры:

«Мы лечили всех пациентов теми средствами, которые у нас были. Колоноклизм всё ещё использовался. Также применялась терапия лихорадкой. У нас был штамм малярии, который мы вводили пациентам. Позже мы использовали тифозный штамм. Мы вводили вакцину против тифа, и через несколько часов у пациентов начинались тошнота, рвота, диарея и температура 40–41 градус Цельсия. Мы делали это в течение восьми или десяти недель, два или три раза в день. Мы делали это, чтобы «усмирить» взволнованных пациентов».

Другими словами, лечение, вероятно, было направлено скорее на успокоение, чем на что-либо другое.

Однако есть некоторые свидетельства того, что лихорадка усиливает работу иммунной системы: белые кровяные клетки, агенты иммунной системы, движутся быстрее при температуре, близкой к 40 градусам Цельсия. Это лишь одна из возможных причин эволюции реакции на лихорадку. П. А. Макковиак предположил, что лихорадка иногда играет защитную роль: лёгкая инфекция проходит быстро, возможно, с небольшим усилением иммунной системы, но высокая лихорадка, приводящая к быстрой смерти заражённого человека, помогает ограничить распространение опасной инфекцией среди его близких. Если объяснения лихорадки столь универсальны, можно ожидать, что реакция на лихорадку характерна для многих видов животного царства. Давайте посмотрим туда за подсказками.

Млекопитающие и птицы, как теплокровные животные, развивают лихорадку, но и холоднокровные животные реагируют на инфекцию. Не будучи способными повышать температуру тела внутренними механизмами, ящерицы просто перемещаются в более тёплые места, если им вводят вредные бактерии. Рыбы также демонстрируют это поведение; если им препятствуют в переходе к более тёплой среде, смертность от инфекции значительно возрастает. Даже насекомые проявляют аналогичное поведение: исследования, проведённые на мадагаскарских тараканах и американских кочующих кузнечиках, показали то же движение к более тёплой среде после заражения.

Общность тепловой чувствительности и способность к терморегуляции неудивительны, поскольку происхождение гипоталамуса, как и других частей мозга, уходит далеко в прошлое. Насколько далеко? Возможно, на 550 миллионов лет назад, к началу эры позвоночных — существ с скелетом, спинным мозгом и черепом, защищающим мозг.

Ближайшим ныне живущим родственником позвоночных из той эпохи кажется двухдюймовое серебристое существо, живущее в норах, вырытых в песке. Известное под научным названием *амфиокс* (ланцетник), это животное не имеет мозга или скелета, но у него есть нервный стержень, поддерживаемый жёстким хрящеподобным материалом, растянутым вдоль спины. На конце стержня есть утолщение, возможно, ранняя версия мозга. Николас и Линда Холланд собирали этих ланцетников в водах Флориды и изучали утолщение с помощью современных методов молекулярной биологии. Они обнаружили, что те же гены, которые делят мозг позвоночных на передний, средний и задний, определяют расположение клеток и организацию этого утолщения. Похоже, природа решила проблему очень давно и использует это решение снова и снова.

Сходство ланцетников с позвоночными настолько велико, что они объединяются в один тип — хордат. У ланцетников также есть «мозг», но работает ли он так же, как наш? Исследования Холландов дополняются анализом структуры мозга ланцетника нейроанатомом Турстоном Лакалли. Он нарезает стержень животного на тончайшие срезы и изучает, как нейроны соединены между собой. Как говорит Линда Холланд: «Это как разбирать Боинг 747 миллиметр за миллиметром». Но тщательная работа приносит свои плоды. Лакалли утверждает, что структура нейронов соответствует структуре позвоночных. Возле утолщения есть кластер клеток, формирующих нечто вроде примитивного глаза, недостаточно хорошего для зрения, но способного различать тени. Есть даже что-то, напоминающее примитивный гипоталамус, отдающий простые команды, такие как «плыви» или «ешь». Возможно, даже присутствует температурная чувствительность.

Общая анатомия мозговых структур объясняет многое о сходной реакции различных видов на повышение температуры тела. Однако стремление переместиться в более тёплую среду как реакция на инфекцию кажется настолько универсальным, что стоит искать его происхождение даже за пределами позвоночных. Ведь насекомые также реагируют на инфекцию поиском тепла. Если механизмы такой универсальны, хорошим местом для поиска объяснений может стать плодовая муха. *Drosophila*, рабочая лошадка генетики XX века, размножается за несколько дней, что делает её удобным объектом для исследований, и процветает на диете из гнилых бананов.

В 1930-х годах было сделано открытие, которое, возможно, приведёт к более глубокому пониманию температуры. Все клетки плодовой мухи содержат четыре пары хромосом, но клетки слюнных желез этих насекомых особенные. В этих маленьких выступах в горле тысячи копий каждой хромосомы идеально выравниваются, образуя гигантскую повторяющуюся реплику оригинала. Без увеличительного стекла, вероятно, вы не сможете разглядеть точки на длинной верёвке. Но если взять пять тысяч одинаковых копий верёвки и положить их рядом, точка станет видимой линией. Так же обычные хромосомы мухи слишком малы, чтобы их можно было увидеть под световым микроскопом, но гигантские политенные хромосомы слюнных желез показывают свою тонкую структуру во всех деталях.

В 1962 году Ф. М. Ритосса заметил, что политенные хромосомы плодовой мухи набухают, если муху подвергнуть воздействию температур немного выше её нормального диапазона. Набухание продолжается около получаса, увеличивая хромосомы вдвое, а затем проходит. Это классическая сторона генетики.

С точки зрения молекулярной биологии, в 1974 году Альфред Тисьер и Хершел Митчелл обнаружили, что набухание сопровождается обильным производством новых типов белков. Эти белки стали называться «тепловыми шоковыми белками» (heat shock proteins или hsp). Их роль сначала была неясной, но со временем начала складываться интересная картина. Для работы клетки многие белки должны перемещаться и взаимодействовать друг с другом строго определённым образом. Это требует, чтобы ДНК кодировала правильные химические формулы. Но этого недостаточно: белки также должны правильно сворачиваться в трёхмерные структуры. Если молекулы белка неправильно свернуты, они не могут правильно взаимодействовать и узнавать друг друга.

Способы, которыми длинные молекулы белков складываются, всё ещё остаются загадкой. Кристиан Анфинсен получил Нобелевскую премию по химии в 1972 году за демонстрацию того, что последовательность аминокислот в цепочке белка определяет общую структуру молекулы, находящейся в водной среде клетки. Аминокислоты, растворимые в воде, стремятся к внешней стороне цепи, в то время как нерастворимые в воде стараются избегать контакта с водой. Складывание молекулы, направляемое исключительно термодинамикой, пытается выстроить первый тип молекул снаружи, а второй — внутри. Это только начало, но требуется нечто большее. Здесь в дело вступает белок теплового шока, hsp.

Механизм работы чем-то напоминает автомастерскую. Если молекула деформируется в результате «аварии», эвакуатор, hsp70, захватывает её и доставляет в мастерскую, hsp60, где маленькие инструменты hsp10 восстанавливают её и возвращают обратно в клетку. Hsp60 имеет форму двух колец, одно над другим, — удобной скамьи для стрессированной молекулы. Повышение температуры увеличивает вероятность «аварии», поскольку молекулы двигаются быстрее при нагреве. Чем быстрее двигаются длинные, тщательно сформированные молекулы, тем больше вероятность их повреждения. Мне нравится аналогия с автомобилями, но большинство учёных называют hsp70 «молекулярными шаперонами», отражая роль, которую они играют, сопровождая молекулы к местам ремонта.

*Drosophila* помогла раскрыть этот секрет, но производство hsp70 универсально для всех видов. К концу 1970-х годов подобные белки были найдены в бактериях, растениях и животных, и они всегда вырабатывались в ответ на повышение температуры. У *E. coli* интенсивное производство hsp начинается при 38 °C (100 °F); при 49 °C (120 °F) белки теплового шока — единственные белки, которые всё ещё производятся. E. coli умирает, но белки теплового шока всё ещё пытаются выполнять свою работу. Если бы ремонт повреждённых молекул был единственной функцией hsp, это уже было бы интересно, но история на этом не заканчивается.

Повышение температуры — это лишь один из многих факторов окружающей среды, которые приводят к деформации или неправильному складыванию молекул в клетке. Яды, тяжёлые металлы и различные загрязнители часто оказывают такое же или даже большее воздействие. К концу 1970-х годов исследователи обнаружили, что эти факторы также вызывают выработку hsp в клетках, аналогично повышению температуры. Реакция на стресс настолько универсальна, что белки теплового шока теперь часто называют просто стрессовыми белками.

Эти белки, как считается, играют важную роль в человеческих заболеваниях. Например, иммунная система распознаёт захватчиков, атакует их и уничтожает, но может существовать промежуточный этап, когда захватчик активирует стрессовые белки, которые предупреждают иммунную защиту. Возможно, эти белки также играют важную роль в реакции человеческого организма на лихорадку. Вероятно, повышение температуры тела во время болезни — это всего лишь способ стимулировать организм на увеличение производства hsp. Такая базовая реакция, как производство hsp, общая для существ от плодовых мух до человека, неизбежно является частью объяснения феномена лихорадки.

Во второй половине XIX века люди осознали своё родство с великими обезьянами. Это был первый шаг к признанию общности адаптивных механизмов жизни. В середине XX века мы узнали, что все живые существа используют одни и те же процессы для кодирования генетической информации с помощью ДНК и РНК, что Фрэнсис Крик называет «центральной догмой молекулярной биологии». Тем не менее, изначально мы цеплялись за убеждение в своём уникальном положении, считая, что информация, содержащаяся в генах, различна для разных видов. Но генетическое секвенирование в последней трети XX века доказало, насколько мы похожи не только на обезьян, но и на лягушек, морских ежей, рыб и даже на дрожжевые клетки. Я думаю, можно сказать, что осознание этой общности стало величайшим открытием последних двадцати лет в биологии.

Например, ген Hom определяет дорсальную структуру плодовой мухи, отличая переднюю часть тела от задней. Удивительно, но генетики нашли те же гены у червей, пиявок, ланцетников, мышей и людей. Более того, ген мыши можно вставить в мутантную муху, и муха будет функционировать нормально. Существует также «мастер-ген» зрения, почти идентичный у мухи и мыши. Конечно, линзовый глаз млекопитающего полностью отличается от сложного глаза насекомого, но ген, запускающий процесс формирования функции зрения, является по сути тем же самым.

Регуляция температуры сложнее для изучения, чем ориентация тела или даже зрение. Вероятно, не существует единственного «мастер-гена», который можно было бы связать с контролем горячего и холодного, и всё же это базовая функция, общая для всех видов. Каким образом этот контроль установлен, как он изменяется и насколько он универсален для всех видов? Это основные вопросы, которые мы только начинаем изучать — великие задачи для исследования в ближайшие десятилетия.

Параллельно мы продолжаем изучать, как мозг, нервы, кожа, кровь и потовые железы, рассеянные по всему нашему телу, поддерживают нашу постоянную температуру, а также как другие виды задают свои собственные команды. Исследование общности и оценка деталей разнообразия продвигаются вперёд бок о бок, как и должно быть.

Хотя мы похожи даже на самые простые организмы, существуют важные способы, которыми люди отличаются от всех других животных. Мы читаем, мы пишем, мы разжигаем огонь и даже измеряем, насколько он горячий.

# Глава 2. Мера для измерения