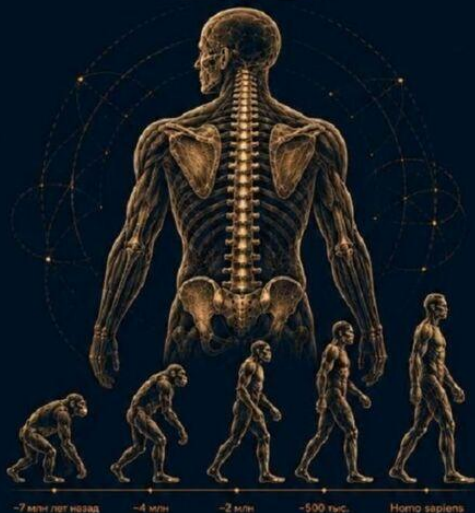


18+

АРХИТЕКТУРА АДАПТАЦИИ

Нейробиология движения,
анатомия боли и искусство
восстановления

Александр Скопинцев



Александр Скопинцев

Архитектура адаптации.

Нейробиология движения,

анатомия боли и искусство

восстановления

<https://litres.ru/74281659>
ISBN 9785007071222

Аннотация

Почему боль в пояснице — не поломка, а цена вертикальности? Почему хрящ изнашивается неслышно, а мозг иногда создаёт боль без единой повреждённой клетки?

«Архитектура адаптации» — доказательный нон-фикшн о теле как о живой, непрерывно адаптирующейся системе: от эволюции стопы до нейробиологии хронической боли и науки восстановления. Основано на реальных исследованиях Нобелевских лауреатов. Для тех, кто хочет понимать своё тело, а не бояться его.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	6
ЧАСТЬ I. ЭВОЛЮЦИЯ И СРЕДА	15
ГЛАВА 1. Цена вертикальности	15
ГЛАВА 2. Среда, которая убивает	31
ГЛАВА 3. Эпигенетика движения	47
ЧАСТЬ II. АРХИТЕКТУРА УПРАВЛЕНИЯ	62
ГЛАВА 4. Мозг-предсказатель	62
ГЛАВА 5. Вегетативный пульт	77
Конец ознакомительного фрагмента.	90

Архитектура адаптации Нейробиология движения, анатомия боли и искусство восстановления

Александр Скопинцев

Иллюстратор Александр Скопинцев

© Александр Скопинцев, 2026

© Александр Скопинцев, иллюстрации, 2026

ISBN 978-5-0070-7122-2

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

Почему боль в пояснице — не поломка, а цена вертикальности? Почему хрящ изнашивается неслышно, а мозг иногда создаёт боль без единой повреждённой клетки? «Архитектура адаптации» — доказательный нон-фикшн о теле как о живой, непрерывно адаптирующейся системе: от эволюции стопы до нейробиологии хронической боли и науки восстановления. Основано на реальных исследованиях Нобелевских лауреатов. Для тех, кто хочет понимать своё тело, а не бо-

яться его.

ВВЕДЕНИЕ

Тело, которое не проектировали заново

Если бы человеческое тело нужно было спроектировать с чистого листа — сегодня, зная всё, что известно современной биомеханике, неврологии и физиологии боли, — вряд ли кто-то выбрал бы именно эту конструкцию. Никто не поставил бы всю массу тела на единственную, узкую площадь опоры и не заставил бы её при этом непрерывно двигаться. Никто не проложил бы главный нерв тела через шею настолько уязвимым образом, не выбрал бы для амортизации удара ткань, лишённую собственных болевых рецепторов, и не взвалил бы на таз одновременно задачу эффективной ходьбы и задачу деторождения крупноголового потомства. Но человеческое тело не проектировали заново. Его собирали — медленно, экономно, шаг за шагом — из деталей, доставшихся в наследство от четвероногих предков, решавших совсем другие задачи выживания. Результат этой многомиллионлетней реставрации — не идеальная машина, а работоспособный, местами гениальный, местами неудобный компромисс. Эта книга — о логике этого компромисса.

Название «Архитектура адаптации» выбрано не для красоты. Оно описывает то, чем на самом деле является тело: не завершённой конструкцией, а системой, находящейся в состоянии непрерывной перестройки. Кость не статична — она

перечитывает направление нагрузки и соответствующим образом меняет собственную внутреннюю геометрию. Сухожилие не инертно — оно откликается на характер механического напряжения синтезом нового коллагена, ориентированного вдоль линий этой нагрузки. Мозг не просто регистрирует происходящее с телом — он заранее генерирует прогноз этого происходящего и лишь сверяет реальность с собственным ожиданием. Даже боль, вопреки самой стойкой бытовой интуиции, не является прямым, пассивным сигналом о повреждении: она — активно формируемый мозгом продукт, интегрирующий десятки источников информации одновременно. Всё это — не метафоры. Это установленные, изученные в лабораториях и клиниках механизмы, и данная книга последовательно, глава за главой, их раскрывает.

Почему традиция Сапольски, Уокера и Либермана

Есть особый жанр научно-популярной литературы, в котором факт не пересказывается, а встраивается в аргумент. Роберт Сапольски объясняет физиологию стресса не перечислением гормонов, а историей о зебре, которая, в отличие от современного человека, не умеет тревожиться о встрече с хищником заранее. Мэттью Уокер не сообщает статистику о недосыпе — он показывает, что происходит внутри черепа человека, который не выспался. Дэниел Либерман не констатирует, что стопа человека приспособлена к бегу, — он реконструирует, шаг за шагом, почему именно так сложилась

её архитектура. Именно в этой традиции — крючок, разрушение интуитивной, но неверной модели, изложение реального научного механизма с указанием на источники и степень доказательности, мост к повседневному опыту читателя и практический вывод — построена каждая из двадцати пяти глав этой книги.

Это не случайный стилистический выбор. Тело человека — предмет, о котором почти у каждого уже есть интуиция, зачастую сформированная не наукой, а обрывками советов, рекламой ортопедических изделий и культурными мифами о «правильной осанке». Чтобы объяснить, как тело устроено на самом деле, часто требуется сначала показать, почему привычная интуиция не работает, — и лишь затем предложить взамен нечто более точное, подкреплённое конкретными исследованиями, а не общими утверждениями «учёные считают».

Карта книги: семь частей одного аргумента

Книга разворачивается как единое, последовательно нарастающее рассуждение, а не как набор изолированных статей на смежные темы.

Первая часть, «Эволюция и среда», закладывает фундамент: тело — это не идеальная, а унаследованная, во многом компромиссная архитектура, вынужденная работать в среде, которая изменилась значительно быстрее, чем успел приспособиться геном. Здесь читатель встретит цену, которую вид

заплатил за прямохождение, узнает, почему ровный пол и мягкая обувь незаметно отучают стопу чувствовать землю, и увидит, каким образом простое движение способно, в буквальном молекулярном смысле, включать и выключать гены.

Вторая часть, «Архитектура управления», переходит от тканей к нервной системе, управляющей ими. Мозг предстаёт здесь не пассивным приёмником сигналов, а активным предсказателем, генерирующим движение до того, как человек успевает его осознать. Вегетативная нервная система оказывается не просто «переключателем» между стрессом и спокойствием, а иерархией качественно разных состояний. Карта собственного тела в коре головного мозга — динамическая, живая структура, а не раз и навсегда зафиксированный чертёж. А сон — не пауза в работе организма, а активная фаза его технического обслуживания, в буквальном смысле слова промывающая мозг от накопленных за день метаболических отходов.

Третья часть, «Биомеханика живых тканей», разбирает саму материю тела — кости, фасцию, сухожилия, стопу — и показывает, что классическая модель тела как набора механических рычагов неполна: устойчивость и передача нагрузки в теле обеспечиваются значительно более интегрированной, распределённой архитектурой натяжения, а сама способность клетки «чувствовать» механическую нагрузку и превращать её в биохимический сигнал была удостоена Нобелевской премии.

Четвёртая часть, «Матрица боли», — вероятно, самая деликатная и вместе с тем самая важная часть книги. Здесь подробно, с максимальной этической осторожностью разбирается то, что современная нейронаука установила о природе боли: боль — не прямое отражение повреждения ткани, а активно формируемое мозгом переживание, способное усиливаться независимо от состояния самой ткани и способное сохраняться значительно дольше, чем длится любое реальное структурное повреждение. Важно сказать это сразу и максимально ясно: ничто из изложенного в данной части не обесценивает боль конкретного человека. Понимание сложного механизма её формирования — это не повод сомневаться в её реальности, а единственный научно обоснованный путь к тому, чтобы относиться к ней серьёзно.

Пятая часть, «Токсикология современности», возвращается к теме эволюционного несоответствия, но уже на уровне гормонов, механики шеи и микробной экосистемы кишечника, показывая, как хронический, во многом психологически опосредованный стресс, привычка смотреть в устройство, расположенное ниже уровня глаз, и обеднённый пищевыми волокнами рацион способны системно влиять на воспалительный фон и состояние соединительной ткани.

Шестая часть, «Искусство адаптации», — конструктивное сердце книги. Здесь рассматриваются установленные принципы, посредством которых ткани способны укрепляться: точное временное окно суперкомпенсации, специфика экс-

центрической нагрузки для сухожилий, метаболическая поддержка синтеза коллагена, роль качества внимания в формировании двигательного навыка и, наконец, психология страха перед движением после травмы — тема, требующая не меньшей осторожности, чем сама боль.

Седьмая, завершающая часть, «Интеграция», собирает все рассмотренные механизмы в единую картину: показывает, как локальная дисфункция стопы способна через кинетическую цепь создавать боль в шее, как циркадные ритмы определяют физиологическую стоимость одной и той же нагрузки в разное время суток, и, наконец, предлагает итоговое переопределение самого понятия здоровья — не как отсутствия диагностированных поломок, а как сохраняемого на протяжении жизни адаптационного резерва.

Как читать эту книгу

Каждая глава написана так, чтобы быть самостоятельно убедительной — её можно читать по отдельности, в зависимости от того, какая тема сейчас актуальна для конкретного читателя. Но главы также выстроены в намеренную последовательность, и термины, единожды введённые с определением, в дальнейшем используются без повторного объяснения, — поэтому чтение по порядку раскрывает книгу наиболее полно.

На протяжении всей книги последовательно соблюдается один и тот же принцип, без которого доказательный нон-

фикшн превращается в пропаганду: каждое сильное утверждение сопровождается указанием на степень его доказательности. «Установлено» означает широкий научный консенсус, подкреплённый независимо воспроизведёнными исследованиями. «Есть данные» означает убедительную, но пока не окончательную доказательную базу. «Гипотеза» или «теоретическая модель» означает правдоподобное, логически обоснованное, но не завершённое научное объяснение. Исследования, выполненные на модельных животных, всегда обозначены как таковые и никогда не выдаются за данные о человеке. Ни одна причинно-следственная связь не декларируется без объяснения конкретного физиологического механизма, стоящего за ней.

Чего в этой книге не будет

В этой книге не будет универсальных протоколов на все случаи жизни, категоричных предписаний «вы должны» и обещаний быстрого результата. Тело каждого человека несёт собственную историю травм, особенностей и ограничений, и там, где материал книги касается конкретных терапевтических или тренировочных решений, книга неизменно указывает на необходимость консультации с квалифицированным специалистом — врачом, физическим терапевтом, специалистом по реабилитации, — а не предлагает себя в качестве замены подобной консультации.

В этой книге не будет и упрощённого деления на «пра-

вильные» и «неправильные» тела, позы или движения. Пронация стопы — не патология. Бессимптомная находка на снимке позвоночника — не приговор. Страх перед движением после травмы — не слабость характера. На протяжении всей книги будет вновь и вновь звучать один и тот же, куда более точный и куда более гуманный тезис: то, что интуитивно воспринимается как поломка или недостаток, зачастую оказывается закономерным, установленным физиологическим следствием архитектуры, унаследованной всем видом, — и понимание этой закономерности не повод для тревоги, а приглашение к более спокойному, информированному вниманию к собственному телу.

Приглашение

Тело, которое несёт вас сквозь эту книгу и сквозь всю жизнь, — не завершённый проект и не окончательно вынесенный вердикт. Это архитектура, продолжающая перестраиваться в каждый момент настоящего — под влиянием того, как вы двигаетесь, спите, дышите, питаетесь и на что обращаете внимание. Следующие двадцать пять глав — попытка показать эту архитектуру во всей её сложности, компромиссности и, при ближайшем рассмотрении, поразительной инженерной элегантности.

Начнём с самого начала — с того момента, около четырёх-шести миллионов лет назад, когда предок человека впервые поднялся на две ноги и не стал больше опускаться

на четыре.

ЧАСТЬ I. ЭВОЛЮЦИЯ И СРЕДА

ГЛАВА 1. Цена вертикальности

Цена вертикального положения: четыре — шесть миллионов лет анатомических компромиссов

Строительная биомеханика не прощает легкомыслия. Любой инженер знает: чтобы удержать высокую, тяжёлую конструкцию, требуется устойчивый фундамент и несколько надёжных точек опоры. Поставить вертикальную стокилограммовую башню на подвижный одиночный шест, заставив его гнуться, пружинить и балансировать на крошечном пятачке земли — чистое безумие.

Однако именно этот трюк эволюция провернула с человеческим телом. Внезапный прострел в пояснице у вполне здорового человека — не случайная поломка и не следствие личной неудачи. Это налог на решение, принятое нашими предками миллионы лет назад в восточноафриканской саванне.

Попробуйте замереть на полминуты и прислушаться к собственным стопам. Полной неподвижности не выйдет. Голеностопы будут едва заметно подрагивать, корпус — совершать микроскопические колебания, а мышцы спины и живота — поочерёдно включаться и расслабляться. В этот мо-

мент тело совершает постуральное раскачивание. Наша площадь опоры смехотворно мала для столь высокой фигуры. Ни одно другое крупное млекопитающее не решает задачу устойчивости столь рискованным образом. Слон покоится на четырёх массивных колоннах. Лошади, собаки и даже наши ближайшие родственники — шимпанзе и бонобо — передвигаются на четырёх конечностях, поднимаясь на две лишь ради мимолётного обзора местности или переноски плодов. Человек же превратил вертикальную позу в бессменный режим существования, полностью перестроив скелет, связки, сосудистую систему и даже механизмы терморегуляции.

Бытовое представление об эволюции как о безупречном инженере ошибочно. Естественный отбор не создаёт чертежи с чистого листа. Он действует скорее как реставратор, которому приказали переделать старинное здание под новые нужды, строго запретив трогать фундамент. Палеоантрополог из Гарвардского университета Дэниел Либерман напоминает: наше тело — это мозаика из компромиссов, вынужденных встраиваться в архитектуру предков. Позвоночник четвероногих изначально напоминал горизонтальную балку подвесного моста, гасящую изгибающие нагрузки. Внутренние органы висели под ней, точно в гамаке из мышц живота. Когда наши предки начали выпрямляться, этой же самой балке пришлось примерить на себя роль вертикального столба, работающего на сжатие. Изменение функционала произошло радикальное, а детали остались прежними. Итог

— появление зон критического износа и узлов напряжения.

Границы этого великого перехода палеоантропология восстанавливает по крупицам. Около 3,2 миллиона лет назад знаменитая австралопитек Люси (*Australopithecus afarensis*) уже уверенно шагала на двух ногах. Её прямохождение выдаёт анатомия таза, угол шейки бедренной кости и смещённое к центру основания черепа большое затылочное отверстие. Существуют серьёзные основания полагать, что бипедализм зародился гораздо раньше — порядка 6—7 миллионов лет назад. На это намекают останки *Sahelanthropus tchadensis* и *Orrorin tugenensis*, однако из-за фрагментарности этих окаменелостей споры об их образе жизни продолжаются. Зато к эпохе *Homo erectus* (около 1,9 миллиона лет назад) эволюционная перестройка завершилась: эти гоминины уже обладали телом, приспособленным не просто к ходьбе, но и к длительному бегу на выносливость. Из этого наблюдения родилась гипотеза эндуранс-бега — идея о том, что способность часами преследовать добычу под палящим солнцем сформировала наш анатомический облик. И хотя она остаётся предметом дискуссий, её аргументы выглядят крайне убедительно.

Чтобы превратить горизонтальную арку в устойчивую вертикальную опору, эволюции пришлось изогнуть позвоночник волной. Прямой шест под воздействием осевой нагрузки быстро теряет устойчивость и выгибается вбок. Волнообразная же структура, напротив, эффективно гасит уда-

ры при ходьбе. Чередование противоположных изгибов — шейного лордоза (выпуклостью вперёд), грудного кифоза (выпуклостью назад), поясничного лордоза и крестцового кифоза — создало пружину, которая удерживает центр тяжести ровно над площадью стоп. Так сформировался наш S-образный изгиб. Биомеханические тесты подтверждают: подобная конфигурация выдерживает продольное сжатие в разы лучше идеальной прямой линии.

Но у этой сверхустойчивости есть тёмная сторона. Поясничный лордоз порождает зону колоссального механического напряжения в точке соединения позвоночника с тазом. На уровне нижних поясничных позвонков L4—L5 и L5—S1 возникают мощные силы сдвига, стремящиеся сместить позвонки друг относительно друга по горизонтали. Статистика безжалостна: именно этот стык чаще всего страдает от грыж и дегенеративных изменений дисков. Наша уязвимость закладывалась в тот самый момент, когда первый гоминин оторвал передние конечности от земли.

Механизм второй: таз как перекрёсток компромиссов

Если наш позвоночник умудрился превратиться в пружинящую вертикальную колонну, то с тазом эволюция обошлась ещё более радикально. Человеческий таз — это, пожалуй, самый драматичный пример анатомического компромисса в истории гоминин. Здесь естественному отбору пришлось одновременно угодить двум абсолютно противопо-

ложным запросам, ломая и перекраивая одну и ту же костную структуру.

У наших четвероногих предков этот узел был узким, вытянутым вдоль тела и служил простым рычагом для отталкивания от земли при ходьбе на четырёх конечностях. Переход к вертикальному положению перевернул всё с ног на голову. Таз превратился в несущий фундамент, принимающий на себя колоссальное давление всех верхних этажей тела. Хуже того, ему пришлось научиться удерживать баланс всего туловища в те моменты, когда мы делаем шаг и вся масса тела на долю секунды повисает на одной-единственной тазобедренной кости.

Палеоантропологические находки показывают, что этот трюк удался далеко не сразу. Таз знаменитой Люси — австралопитека из Афарской низменности (*Australopithecus afarensis*), жившей около 3,2 миллиона лет назад, — уже успел развернуться, став заметно шире и плосче, чем у обычных приматов. Её подвздошные кости распахнулись вбок и вперёд, дав необходимую точку опоры ягодичным мышцам, без которых прямохождение превратилось бы в постоянные падения. И всё же этот каркас оставался слишком узким по сравнению с тем, что мы видим у более поздних гоминин. Люси и её сородичи уже уверенно стояли на двух ногах, но их походка с точки зрения биомеханики была расточительной и требовала слишком много энергии.

Настоящая драма разыгралась позже, примерно 1,9 мил-

лиона лет назад, когда на арену вышел *Homo erectus*. Эволюция столкнулась с задачей, напоминающей попытку расширить городские ворота во время осады: параллельно с оттачиванием прямохождения у древних людей начал стремительно расти мозг. У *Homo erectus*, а затем у гейдельбергского человека и *Homo sapiens* этот орган увеличился в несколько раз. Большому мозгу нужна просторная черепная коробка, которой в момент рождения предстоит протиснуться сквозь родовой канал внутри тазового кольца. Но физика передвижения неумолима: для максимально экономичной ходьбы и быстрого бега таз должен оставаться узким, собранным и компактным.

Это классический тупик, где два вектора отбора тянут кости в разные стороны. Чтобы примирить скорость передвижения с размером младенческой головы, эволюции пришлось пойти на изящную уловку, известную как гипотеза обстетрической дилеммы. Суть её в том, что человеческий ребёнок рождается на свет неврологически незрелым, фактически «недоношенным» по меркам тех же шимпанзе. Его череп успевает проскочить сквозь костное кольцо до того, как мозг вырастет до критических, непроходимых размеров. В последние десятилетия эту модель активно уточняют. Современные исследователи указывают, что дело не только в механике костей, но и в метаболическом пределе материнского организма, который физически не способен тратить столько энергии на дальнейшее вынашивание плода. И хотя

споры о точных механизмах продолжаются, перед нами классический пример застывшего архитектурного компромисса.

Расплачиваться за этот компромисс приходится каждый день. Из-за того, что наш таз зажат между требованиями прямохождения и деторождения, он остаётся относительно узким по сравнению с размахом плеч. Каждый наш шаг заставляет среднюю ягодичную мышцу работать на износ, стабилизируя бедро сбоку, и обрушивает колоссальное давление на связки крестцово-подвздошного сочленения.

Механизм третий: колено — сустав, работающий не по инструкции предков

Ещё ниже по кинематической цепи находится коленный сустав, и здесь эволюция устроила ещё более хитрый инженерный подлог. У четвероногих колено сидит строго под бедром, и механическая нагрузка транслируется по безупречно прямой линии. Человеку же, чтобы не падать при переносе веса с ноги на ногу, пришлось сдвинуть стопы и колени ближе к центральной оси тела. В результате наша бедренная кость идёт от широкого таза вниз по диагонали, образуя так называемый Q-угол, или угол квадрицепса. У приматов его почти нет, а у человека он выражен со всей очевидностью, причём у женщин из-за более широкого таза этот наклон обычно круче.

Такая геометрия превращает колено из банального шарнира в зону перманентного скручивания. Помимо прямого

сжатия, сустав в движении постоянно испытывает боковые и вращательные силы. Чтобы коленная чашечка, бедренная и большеберцовая кости не разлетались в стороны, природа внедрила механизм завинчивания. В момент полного выпрямления ноги колено совершает едва заметный, но критически важный поворот внутрь, намертво блокируя сустав и позволяя нам стоять часами без дикого перенапряжения мышц. Этот факт досконально подтверждён биомеханическими тестами и современными методами кинематической визуализации. Держат эту сложнейшую систему на плаву мениски — хрящевые полулунные прокладки, распределяющие давление по суставной поверхности, — и прочнейшие связки.

Ключевой биологический механизм: почему износ хряща копится незаметно

Все эти тектонические сдвиги в анатомии легли на плечи гиалинового хряща — древней ткани, покрывающей суставные поверхности коленей, таза и межпозвоночных дисков. Фундаментальная особенность гиалинового хряща заключается в том, что он полностью лишён кровеносных сосудов и болевых рецепторов, являясь абсолютно аваскулярной структурой.

Отсутствие капилляров превращает питание хряща в квест. Вместо прямого снабжения через кровь он высасывает питательные вещества из суставной жидкости методом диф-

фузии. Хрящ работает как обычная банная губка: когда мы двигаемся, циклическое сжатие и разжатие сустава буквально прокачивает сквозь него влагу, обновляя ресурсы хондроцитов — клеток хрящевой ткани. Отсюда следует парадоксальный вывод: движение не уничтожает сустав, а кормит его. Длительный застой и полное отсутствие нагрузок истощают хрящевую матрикс так же эффективно, как и безумное механическое перенапряжение, разрушающее коллагеновую сеть.

Вторая особенность — полное безмолвие хряща. Поскольку в самой ткани нет нервных окончаний, её истончение и разволокнение могут бессимптомно тянуться десятилетиями. Сустав не способен закричать о помощи, пока разрушение не доберётся до иннервированных соседей: субхондральной кости, лежащей прямо под хрящом, суставной капсулы или синовиальной оболочки, которая воспаляется от плавающих в суставе микроскопических осколков ткани.

Эта анатомическая немота хряща порождает любопытный медицинский феномен. Возрастные изменения суставов на МРТ у людей, не испытывающих ни малейшего дискомфорта, — это не патология, а абсолютная статистическая норма. Прямая связь между картинкой на снимке и реальной болью устроена гораздо тоньше, чем кажется на первый взгляд, и подробно об этой нейробиологической матрице боли пойдёт речь в следующих главах.

Архитектура компромисса на практике

Вся наша вертикальная архитектура — это не триумф инженерной мысли, а серия срочных переделок. Осознание этого факта радикально меняет правила игры. Хронический дискомфорт в пояснице или коленях — не личный приговор и не повод винить себя в неправильном образе жизни. Это базовая уязвимость нашего вида, заложенная ещё в плейстоцене.

Но это и руководство к действию: понимая, что суставной хрящ питается исключительно во время работы, стратегия тотального покоя и попытки переждать проблему на диване выглядят биологической ошибкой. Нашим суставам необходима разумная, циклическая и регулярная нагрузка. Только так можно заставить эволюционный компромисс работать на нас, а не против нас.

Список литературы

Научную основу этой главы составляют многолетние палеоантропологические и биомеханические исследования. Сведения об анатомии ранних гоминин и эволюции прямохождения подробно изложены в фундаментальных трудах профессора Гарвардского университета Дэниела Либермана, где также детально сформулирована гипотеза эндуранс-бега. Данные о строении и локомоции австралопитеков опираются на классические описания посткраниального скелета знаменитой Люси (*Australopithecus afarensis*), датированного перио-

дом около 3,2 миллиона лет назад. Временные рамки зарождения бипедализма верифицируются публикациями, посвящёнными анализу фрагментарных находок *Sahelanthropus tchadensis* и *Orrorin tugenensis* в диапазоне от 6 до 7 миллионов лет назад. Морфологическая зрелость вертикальной позы и беговых адаптаций подтверждается антропологическими реконструкциями находок *Homo erectus* возрастом около 1,9 миллиона лет. Механика суставов и физиология хрящевой ткани зафиксированы в отчётах лабораторных тестов на осевое сжатие позвоночника и кинематической визуализации коленного сустава в реальном времени, а эпидемиологическая уязвимость нижнепоясничного отдела подтверждается масштабным анализом дегенеративных изменений сегментов L4—L5 и L5—S1 в медицинских картах взрослого населения развитых стран.

Термины для глоссария

Для точного понимания описываемых процессов необходимо зафиксировать ключевые понятия, используемые в современной науке. Подвздошные кости представляют собой широкие парные элементы тазового пояса, которые у человека развернулись вперёд и вбок для создания опоры мышцам. Средняя ягодичная мышца является ключевым латеральным стабилизатором, удерживающим таз от крена в фазе опоры на одну ногу при ходьбе. Понятие родового канала описывает костное кольцо таза, через которое проходит плод во вре-

мя родов. Гипотеза обстетрической дилеммы объясняет эволюционный компромисс между шириной родового канала для крупного мозга младенца и компактностью таза для эффективного передвижения. Под Q-углом, или углом квадрицепса, понимается анатомический угол наклона бедренной кости внутрь от тазобедренного сустава к колену, обеспечивающий сведение стоп к линии центра тяжести. Механизм завинчивания означает автоматическую ротацию коленного сустава внутрь в момент его полного разгибания, фиксирующую ногу без лишних мышечных затрат. Мениски представляют собой полулунные хрящевые прокладки, амортизирующие удары и распределяющие давление по суставным поверхностям колена. Гиалиновый хрящ определяется как плотная, упругая и гладкая ткань, покрывающая сочленения костей. Термин аваскулярная ткань указывает на полное отсутствие в хряще собственных кровеносных сосудов, что делает его питание зависимым от диффузии питательных веществ из суставной жидкости под воздействием механического сжатия. Хондроциты являются основными клетками хрящевой ткани, отвечающими за производство и поддержание межклеточного матрикса. Субхондральная кость представляет собой плотный слой костной ткани, расположенный непосредственно под суставным хрящом и снабжённый нервными окончаниями.

Пометка степени доказательности

В представленном материале чётко разделены факты различного эпистемологического статуса. К категории твёрдо установленных научных фактов относится бипедальная анатомия австралопитеков и *Homo erectus*, более высокая устойчивость S-образного позвоночника к продольному сжатию по сравнению с прямой линией, автоматический механизм закручивания колена, а также статистическое лидерство сегментов L4—L5 и L5—S1 по частоте возникновения межпозвоночных грыж у человека. Статус убедительных данных, подкреплённых серьёзной базой, но требующих дальнейших находок из-за фрагментарности окаменелостей, присвоен гипотезе о начале перехода к прямохождению в интервале от 6 до 7 миллионов лет назад на основе останков сахелянтропа и оррорина. Наконец, к категории теоретических гипотез относятся классическая модель обстетрической дилеммы, которая сейчас активно пересматривается в пользу метаболических факторов вынашивания плода, а также идея о том, что именно длительный бег на выносливость послужил ключевым движущим стимулом для формирования пропорций тела *Homo erectus*.

Список литературы главы

Hoy D., March L., Brooks P. et al. 2014. «The global burden of low back pain: estimates from the Global Burden of Disease 2010 study». *Annals of the Rheumatic Diseases*, 73 (6), 968—974.

Lieberman D. 2013. The Story of the Human Body: Evolution, Health, and Disease. Pantheon Books.

Johanson D., Edey M. 1981. Lucy: The Beginnings of Humankind. Simon & Schuster; Lovejoy C.O. 1988. «Evolution of human walking». Scientific American, 259 (5), 118—125.

Zollikofer C.P.E., Ponce de León M.S., Lieberman D.E. et al. 2005. «Virtual cranial reconstruction of Sahelanthropus tchadensis». Nature, 434, 755—759; Senut B., Pickford M., Gommery D. et al. 2001. «First hominid from the Miocene (Lukeino Formation, Kenya)». Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 332 (2), 137—144.

Bramble D.M., Lieberman D.E. 2004. «Endurance running and the evolution of Homo». Nature, 432, 345—352.

Whitcome K.K., Shapiro L.J., Lieberman D.E. 2007. «Fetal load and the evolution of lumbar lordosis in bipedal hominins». Nature, 450, 1075—1078; Latimer B., Ward C.V. 1993. «The thoracic and lumbar vertebrae». B c6.: The Nariokotome Homo erectus Skeleton, Harvard University Press.

Adams M.A., Roughley P.J. 2006. «What is intervertebral disc degeneration, and what causes it?». Spine, 31 (18), 2151—2161.

Lovejoy C.O. 1988. «Evolution of human walking». Scientific American, 259 (5), 118—125.

Sockol M.D., Raichlen D.A., Pontzer H. 2007. «Chimpanzee locomotor energetics and the origin of human bipedalism». Proceedings of the National Academy of Sciences, 104 (30),

12265—12269.

Trevathan W. 2011. «Human birth: an evolutionary perspective». Aldine de Gruyter (переиздание); Rosenberg K., Trevathan W. 2002. «Birth, obstetrics and human evolution». BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology, 109 (11), 1199—1206.

Dunsworth H.M., Warrener A.G., Deacon T. et al. 2012. «Metabolic hypothesis for human altriciality». Proceedings of the National Academy of Sciences, 109 (38), 15212—15216.

Kapandji I.A. 2011. The Physiology of the Joints, Volume 2: Lower Limb. Churchill Livingstone.

Sophia Fox A.J., Bedi A., Rodeo S.A. 2009. «The basic science of articular cartilage: structure, composition, and function». Sports Health, 1 (6), 461—468.

O'Hara B.P., Urban J.P., Maroudas A. 1990. «Influence of cyclic loading on the nutrition of articular cartilage». Annals of the Rheumatic Diseases, 49 (7), 536—539.

Vanwanseele B., Lucchinetti E., Stüssi E. 2002. «The effects of immobilization on the characteristics of articular cartilage: current concepts and future directions». Osteoarthritis and Cartilage, 10 (5), 408—419.

Термины для глоссария

Бипедализм — прямохождение на двух ногах, ключевая эволюционная адаптация человека, ставшая постоянным, а не эпизодическим способом передвижения.

Лордоз — изгиб позвоночника, обращённый выпуклостью вперёд (характерен для шейного и поясничного отделов).

Кифоз — изгиб позвоночника, обращённый выпуклостью назад (характерен для грудного и крестцового отделов).

Гиалиновый хрящ — тип хряща, покрывающий суставные поверхности костей в подвижных суставах; не имеет собственных болевых рецепторов и собственного кровоснабжения.

Аваскулярная ткань — ткань без собственного кровоснабжения (например, хрящ), питание которой зависит от циклического механического давления и диффузии, а не от прямого тока крови.

ГЛАВА 2. Среда, которая убивает

Представьте, что вы взяли глубоководный эхолот, идеально откалиброванный для сканирования океанских впадин, и попытались включить его посреди Сахары. Прибор не сломан, каждая его микросхема исправна, но его показатели не имеют ничего общего с реальностью. Просто среда вокруг него изменилась быстрее, чем его внутренние настройки. В точно таком же положении оказалась человеческая стопа. Миллионы лет эволюция полировала её для взаимодействия с хаотичным, рельефным и живым грунтом, но мы заперли её на плоском, безжизненном асфальте и стерильном паркете. И наши проблемы с ногами возникают не потому, что стопа сама по себе «слабая» или «дефектная». Дело в глубоком разрыве между нашей биологической прошивкой и миром, который мы вокруг себя построили.

Это классический пример теории эволюционного несоответствия (эволюционное несоответствие, или Mismatch Theory — концепция, согласно которой анатомия и физиология организма, сформированные естественным отбором под условия среды предков, оказываются плохо приспособленными к параметрам новой среды, изменившейся за слишком короткое для генетической адаптации время). И эта концепция — вовсе не умозрительная абстракция: она объясняет колоссальное количество современных проблем с опор-

но-двигательным аппаратом, обходясь без мистики и банального ворчания в духе «мы просто разучились правильно ходить».

Почему стопа ребёнка в городе и в племени — это разные истории

Давайте посмотрим на детей. Если сравнить две группы — малышей из традиционных сообществ, которые большую часть жизни бегают босиком по траве, камням и песку, и городских детей из развитых стран, обутых с первых шагов и шагающих исключительно по линолеуму, плитке и асфальту, — обнаруживается поразительный факт. Эпидемиологические исследования показывают, что распространённость плоскостопия (плоскостопие — состояние, при котором продольный свод стопы уплощён сильнее физиологической нормы) у детей, растущих босиком, систематически ниже. Более того, эта разница накапливается с годами: чем дольше ребёнок живёт в урбанизированной среде и носит закрытую обувь, тем сильнее выражено уплощение.

Это не случайная флуктуация, а твёрдо установленный эпидемиологический факт, зафиксированный независимыми учёными на разных континентах. Но сам по себе он порождает куда более глубокий вопрос: что именно происходит с эволюционно отточенной биомеханической конструкцией, когда её с раннего детства лишают естественного рельефа и заключают в жёсткий или искусственно смягчённый

кокон?

Иллюзия быстрой адаптации

Здесь легко совершить логическую ошибку и подумать: «Ну хорошо, если среда изменилась, разве естественный отбор со временем не исправит это? Разве мы не адаптируемся к асфальту?»

Не адаптируемся. По крайней мере, не в обозримом будущем. Биологическая эволюция — ленивый и неповоротливый процесс. Чтобы зафиксировать заметное анатомическое изменение в популяции, требуются тысячи смен поколений и десятки тысяч лет. Наша технологическая и культурная среда, напротив, меняется со скоростью мысли — изменения происходят на протяжении одной человеческой жизни. В этот тектонический разрыв между стремительным изменением мира и медлительностью генома и проваливается значительная часть нашего здоровья — от метаболических сбоев до дисфункций скелета.

Только не поймите меня неправильно: теория несоответствия — это не повод идеализировать прошлое. Романтизация жизни предков — излюбленный грех авторов популярной науки, и его стоит избегать. Как справедливо напоминает эволюционный биолог Дэниел Либерман, жизнь в палеолите не была спа-курортом: люди страдали от паразитов, гибли от инфекций, а детская смертность была колоссальной. Задача эволюционного подхода — не призыв «вернуться в

пещеры», а точная диагностика. Мы должны понять, какие именно параметры среды изменились настолько резко, что наше тело начало сбоить. В истории со стопой таких параметров два: идеальная плоскость под ногами и толстая подушка искусственной амортизации. Вместе они буквально глушат сигналы, для приёма которых стопа и создавалась.

Механизм первый: стопа как сенсорный радар

Мы привыкли думать о стопе как о глупом фундаменте — мясной платформе, которая просто держит вес тела и пружинит при шаге. Это опасное заблуждение. Стопа — это в первую очередь мощнейший сенсорный орган.

Подошвенная поверхность человека буквально усеяна механорецепторами — специализированными нервными окончаниями, чутко реагирующими на малейшее давление, вибрацию и растяжение. Их плотность там сопоставима с плотностью тактильных рецепторов на кончиках пальцев рук. Звучит дико, правда? Мы ведь не воспринимаем мир ногами так же отчётливо, как ладонями. Но это иллюзия: просто мозг обрабатывает этот гигантский массив данных «в фоновом режиме», на подкорковом уровне. Ему некогда отвлекать наше сознание — ему нужно автоматически, каждую секунду удерживать вертикально стоящее тело от падения.

Этот непрерывный информационный поток формирует нашу проприоцепцию (проприоцепция — чувство положения и движения собственного тела в пространстве, форми-

рующееся на основе сигналов от рецепторов в мышцах, суставах, связках и коже). Стопа — наш главный и первый переговорщик с планетой. Когда вы идёте по лесной тропе, песку или гальке, мозг получает богатейшую симфонию сигналов о твёрдости, наклоне и текстуре почвы. В ответ нервная система мгновенно, рефлекторно отдаёт команды мышцам голени и стопы: перераспределить вес, скорректировать положение суставов, включить мелкие мышечные стабилизаторы. Эта система микрокоррекций в реальном времени оттачивалась миллионы лет прямохождения в расчете на постоянный, сложный информационный шум.

Механизм второй: как город глушит сигнал

Что делает современная городская среда? Она выключает этот шум, предлагая взамен тотальную амортизацию удара (амортизация удара — процесс поглощения и рассеивания механической энергии, возникающей в момент контакта стопы с опорной поверхностью, распределённый между самой поверхностью, обувью и структурами стопы, голени и коленного сустава). В дикой природе мягкая земля, трава или песок забирали часть энергии удара на себя, а остальное гасили своды стопы и сухожилия, работая как живая рессора.

Город заменил мягкую землю бетоном. А чтобы мы не отбили ноги, упаковал нас в обувь с толстой, мягкой подошвой. И вот здесь биомеханика преподносит контринтуитивный сюрприз. Казалось бы, если асфальт жёсткий, то толстая

подошва — однозначное спасение?

Всё гораздо сложнее. В 2010 году группа учёных под руководством Дэниела Либермана опубликовала в журнале Nature прорывное исследование, посвящённое биомеханике бега. Они сравнили людей, привыкших бегать босиком (жителей регионов, где обувь традиционно почти не носят), с теми, кто всю жизнь тренировался в современных амортизирующих кроссовках.

Выяснился фундаментальный факт: «босоногие» бегуны в подавляющем большинстве случаев приземляются на переднюю или среднюю часть стопы. Люди в технологичной обуви систематически бьют пяткой. И это не вопрос личных привычек, это следствие работы проприоцептивной обратной связи.

Когда вы бежите босиком, приземление на голую пятку — жёсткую кость без встроенных пружин — вызывает резкий, болезненный удар. Мозг получает мгновенный сигнал тревоги и перестраивает паттерн бега, заставляя ногу опускаться на носок, чтобы мышечно-сухожильный комплекс принял нагрузку на себя. Но если на вас надеты кроссовки с толстой подушкой, материал подошвы съедает этот первичный дискомфорт. Проприоцептивный сигнал приглушается. Нога получает возможность раз за разом врезаться в землю пяткой, потому что мозг ослеплен мягким пластиком подошвы и не получает сигнала о перегрузке в полном объёме.

Давайте очертим границы доказанного: смена паттерна

движения с носка на пятку под влиянием амортизирующей обуви — это строго установленный биомеханический факт. Но приводит ли эта «выключенная» проприоцепция к росту травм у бегунов по сравнению с любителями минималистичной обуви? Здесь научное сообщество осторожно, и единого мнения нет: исследования дают противоречивые результаты. Более того, если вы решите резко выбросить кроссовки и побежать босиком по асфальту, вы гарантированно травмируетесь — ваши непривычные к нагрузке мышцы и связки просто не готовы к такой работе.

Реальность тоньше, чем лозунги маркетологов или радикальных минималистов. Толстая подошва на ровном асфальте — это не яд, а фактор, который драматически снижает сенсорный поток от наших стоп. Это установленный физиологический механизм. А вот как именно эта сенсорная глухота скажется лично на вашем теле — зависит от огромного уравнения, в котором обувь является лишь одной из переменных.

Механизм третий: Живой мост, а не каменная арка

Анатомические атласы прошлого совершили красивую ошибку: они упорно рисовали продольный свод стопы как пассивную архитектурную конструкцию. словно это миниатюрный каменный виадук, где кости предплюсны и плюсны намертво скреплены связками и держат форму исключительно за счёт геометрии.

Современная биомеханика разбила этот статичный образ. Наш свод — не камень. Это динамическая, постоянно пульсирующая система, которой управляет активный мышечный каркас: как крошечные собственные мышцы самой стопы, так и мощные длинные мышцы голени, чьи сухожилия перекинуты через кости ноги, словно ванты моста. Электромиографические исследования показывают, что в пиковые моменты опоры при ходьбе или беге эти мелкие мышцы активно включаются, удерживая свод от проседания. Они не ждут, пока связки растянутся до предела. Они работают на опережение.

Но здесь кроется физиологическая ловушка. Любая полупроизвольная мышечная работа критически зависит от обратной связи. Мозг не станет посылать сигналы к действию в пустоту. Чтобы запустить точную цепочку микросокращений, нервной системе каждую секунду требуется детальный проприоцептивный рапорт с подошвы: каков уклон, где плотность выше, куда смещается центр тяжести?

Когда этот рапорт годами глушится асфальтом и жёсткой обувью, намертво блокирующей пальцы, активирующий сигнал угасает. Включается фундаментальный биологический закон:

Принцип «используй или потеряешь» — общебиологическая закономерность, согласно которой ткани и системы организма, лишённые привычной функциональной нагрузки, подвергаются постепенной атрофии и снижают свой тонус

(подробно этот процесс будет раскрыт далее в контексте механотрансдукции).

Без сенсорного вызова мышцы, обязанные держать свод, постепенно теряют тонус и силу. Сенсорный голод бьёт по архитектуре.

Плоскостопие — состояние, при котором продольный свод стопы уплощён сильнее физиологической нормы.

Взаимосвязь между обувью и формой стопы наглядно проиллюстрировали Рао и Джозеф (Rao & Joseph) в своём классическом эпидемиологическом исследовании 1992 года. Учёные изучили огромную выборку детей, выросших в полярных условиях: одни с первых шагов носили закрытые туфли, другие провели детство босиком. Результаты оказались однозначными: у детей, регулярно носивших закрытую обувь, плоскостопие встречалось заметно чаще. Более того, жёсткие конструкции, сковывавшие стопу, давали куда более выраженный негативный эффект, чем мягкие или открытые сандалии.

Здесь важно провести черту. Перед нами эпидемиология — то есть масштабная статистика, фиксирующая корреляцию, а не прямое экспериментальное доказательство причинно-следственной связи. Чтобы получить стопроцентное доказательство, потребовалось бы запереть сотни детей в лаборатории на десятилетие, искусственно меняя типы обуви, что немыслимо ни этически, ни практически. Однако эта корреляция выглядит чрезвычайно убедительно. Она опира-

ется не на слепое совпадение чисел, а на понятный, независимо верифицированный физиологический механизм: меньше сигналов от рецепторов — слабее мышцы — ниже свод.

Механизм четвёртый: Опасная забота супинаторов

Логическим продолжением этой истории стала индустрия ортопедической поддержки. В любой аптеке вам предложат стельки с супинатором.

Супинатор — ортопедическая вставка или элемент конструкции обуви, механически поддерживающий продольный свод стопы снаружи и компенсирующий недостаточную функцию его собственных мышц.

В этой технологии есть здоровое зерно. Если у человека уже развилась тяжёлая, болезненная деформация, супинатор незаменим. Он экстренно снимает механическое напряжение с перегруженных связок и спасает от боли. В таких ситуациях ортопедическая поддержка — это локальное лекарство, которое должен назначать врач по строгим показаниям.

Но когда супинатор превращается в элемент повседневной обуви для здоровой ноги, физиология разворачивается в обратную сторону. Жёсткий пластиковый или кожаный холмик под сводом делает то, что стопа должна делать сама. Зачем мышцам напрягаться и удерживать вес тела, если за них это делает обувной завод? Мы снова упираемся в классическую детренированность: ткань, лишённая функциональной нагрузки, неизбежно сдаёт позиции.

Суть эволюционного несоответствия не в том, что обувные технологии плохи сами по себе. Проблема в масштабе. То, что создавалось как точечный медицинский костыль, превратилось в постоянную, невидимую среду обитания для миллионов здоровых людей. Мы добровольно изолировали свои стопы от сенсорных стимулов и мышечной работы на десятки лет.

Эхо несоответствия: от пальцев ног до шейных позвонков

Стопа — лишь первая кость в домино эволюционного несоответствия. Тот же паттерн стремительного изменения среды, опережающего наш неповоротливый геном, управляет большинством современных недугов. Хронический дефицит естественной стимуляции запускает перестройку тела, но не в сторону закалки, а в сторону деградации. В следующих главах мы увидим, как эта логика работает на других этажах нашего тела:

— Как многочасовая фиксация взгляда на смартфонах перегружает шейный отдел («**гравитация экранов**»).

— Как многолетнее сидение в офисных креслах погружает в спячку ягодичные мышцы и расшатывает крестцово-подвздошное сочленение («**синдром Золушки**»).

— Как стерильное электрическое освещение разрушает хрупкую архитектуру сна, путая наши циркадные ритмы.

Везде действует один сценарий: незаметное, растянутое на десятилетия смещение базовой нагрузки.

Этот механизм заставляет полностью пересмотреть бытовое понятие «удобства». Мы привыкли считать, что максимально мягкая подошва и плотная поддержка — это благо, ведь нам так комфортно в моменте. Но мгновенное ощущение уюта и долгосрочная жизнеспособность сложной сенсорной системы — принципиально разные вещи. Слишком гладкий, кастрированный сенсорный сигнал лишает стопу возможности адаптивно реагировать на реальность.

Из этого не следует, что завтра нужно сжечь кроссовки и пойти босиком по гравию. В спортивной медицине железно доказано: резкий, неподготовленный переход на минималистичную обувь гарантирует травмы мышечно-сухожильного комплекса. Стопе нужна постепенная реабилитация, а не революция. Речь идёт о дозированном возвращении сенсорного разнообразия: пройтись босиком по безопасной естественной поверхности, дать пальцам свободу там, где это уместно, и подбирать обувь без избыточной поддержки, если к ней нет прямых медицинских показаний.

Теория эволюционного несоответствия — это не манифест луддитов и не романтизация первобытных костров. Жизнь наших предков изобиловала инфекциями, приносила травмы и пугала высокой детской смертностью. Эволюционный взгляд — это точный скальпель для диагностики. На-

ше тело спроектировано как сложнейший радар, требующий непрерывного потока данных от земли. Городской ландшафт этот поток заглушил, ослабил мышцы свода и сделал плоскостопие нашей новой нормой. Понимание этого механизма избавляет от паники и открывает путь к разумному движению.

А теперь пора спуститься глубже: от уровня макроструктур и тканей — к отдельной клетке и её генетическим переключателям.

Список литературы главы

Rao U.B., Joseph B. 1992. «The influence of footwear on the prevalence of flat foot: a survey of 2300 children». *Journal of Bone and Joint Surgery (British volume)*, 74 (4), 525—527.

Lieberman D. 2013. *The Story of the Human Body: Evolution, Health, and Disease*. Pantheon Books.

Kennedy P.M., Inglis J.T. 2002. «Distribution and behaviour of glabrous cutaneous receptors in the human foot sole». *Journal of Physiology*, 538 (3), 995—1002.

Kavounoudias A., Roll R., Roll J.-P. 2001. «Foot sole and ankle muscle inputs contribute jointly to human erect posture regulation». *Journal of Physiology*, 532 (3), 869—878.

Lieberman D.E., Venkadesan M., Werbel W.A. et al. 2010. «Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners». *Nature*, 463, 531—535.

Lieberman D.E. 2012. «What we can learn about running

from barefoot running: an evolutionary medicine perspective». *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 40 (2), 63—72.

Ridge S.T., Johnson A.W., Mitchell U.H. et al. 2013. «Foot bone marrow edema after 10-week transition to minimalist running shoes». *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45 (7), 1363—1368; Tam N., Astephen Wilson J.L., Noakes T.D., Tucker R. 2014. «Barefoot running: an evaluation of current hypothesis, future research and clinical applications». *British Journal of Sports Medicine*, 48 (5), 349—355.

Kelly L.A., Cresswell A.G., Racinais S. et al. 2014. «Intrinsic foot muscles have the capacity to control deformation of the longitudinal arch». *Journal of the Royal Society Interface*, 11 (93), 20131188.

Kelly L.A., Lichtwark G., Cresswell A.G. 2015. «Active regulation of longitudinal arch compression and recoil during walking and running». *Journal of the Royal Society Interface*, 12 (102), 20141076.

Franettovich M., Chapman A., Blanch P., Vicenzino B. 2010. «A physiological and psychological basis for anti-pronation taping from a critical review of the literature». *Sports Medicine*, 40 (3), 227—242.

Термины для глоссария

Эволюционное несоответствие (Mismatch Theory) — концепция, согласно которой организм, адаптированный отбором к среде предков, плохо соответствует условиям совре-

менной среды, поскольку скорость культурных и технологических изменений превышает скорость биологической эволюции.

Проприоцепция — чувство положения и движения собственного тела в пространстве, формирующееся на основе сигналов от рецепторов в мышцах, суставах, связках и коже.

Супинатор — ортопедическая вставка или элемент конструкции обуви, механически поддерживающий продольный свод стопы снаружи, компенсируя недостаточную функцию собственных мышц свода.

Амортизация удара — процесс поглощения и рассеивания механической энергии, возникающей в момент контакта стопы с опорной поверхностью, распределённый между поверхностью, обувью (если она есть) и структурами стопы, голени и коленного сустава.

Пометка степени доказательности

Установленный консенсус: более высокая плотность иннервации подошвенной поверхности стопы механорецепторами; различие в паттерне приземления (пятка/передняя часть стопы) между привычно босыми и привычно обутой бегунами; активная роль собственных мышц стопы в динамическом поддержании продольного свода под нагрузкой; более низкий темп биологической эволюции по сравнению с темпом изменения технологической среды.

Убедительные, но не окончательные данные: статистиче-

ская связь между постоянным ношением закрытой жёсткой обуви в детстве и повышенной распространённостью плоскостопия; клинические последствия хронического снижения проприоцептивной стимуляции стопы для конкретного человека; влияние типа обуви на общую частоту беговых травм.

Теоретическая модель: рамка эволюционного несоответствия как объяснительный принцип для широкого круга современных дисфункций опорно-двигательного аппарата — сама рамка широко принята в эволюционной медицине, но её конкретное применение к каждому отдельному случаю требует отдельной доказательной проверки, а не автоматического переноса общего принципа.

ГЛАВА 3. Эпигенетика движения

Молекулярная симфония и динамическая партитура

Каждая клетка нашего тела прячет внутри абсолютно идентичный, до последней буквы, чертёж всего организма. Однако клетка сетчатки никогда не пытается производить желудочный сок, а мышечное волокно не синтезирует печёночные ферменты. Текст один и тот же, но его доступность принципиально отличается. В тканях разные страницы этого единого руководства либо намертво запечатаны, либо открыты настежь. И самое интригующее: эта расстановка замков и флажков не высечена в камне при рождении. Она пластична и меняется в течение всей жизни в ответ на то, что мы делаем со своим телом, — включая каждое наше движение или его отсутствие.

Этот тонкий слой молекулярных настроек, определяющих, какие именно генетические инструкции активны прямо сейчас, изучает эпигенетика.

Эпигенетика — изучение изменений активности генов, не затрагивающих последовательность самой ДНК, но способных передаваться при делении клеток.

Мы уже разбирали эволюционные несоответствия на уровне крупных узлов — костей и суставов. Теперь пора спуститься в микроскопический мир, к молекулярным шестерёнкам внутри отдельной клетки. Оказывается, разрыв меж-

ду нашей эволюционной прошивкой и современным малоподвижным образом жизни бьёт по организму на самом глубоком уровне — через прямое включение и выключение генов.

Близнецы и иллюзия генетического рока

В XX веке научно-популярная мысль долго находилась в плену жёсткого генетического детерминизма. Нам казалось, что унаследованная ДНК — это неизменяемая компьютерная программа, которая фатально предопределяет метаболизм, склонность к болезням и чуть ли не черты характера. Взгляд удобный, но в корне неверный.

Главное опровержение этой фатальности дают однояйцевые близнецы. Рождаясь с абсолютно одинаковым генетическим кодом, они должны были бы стареть как зеркальные копии друг друга. Но в реальности их судьбы быстро расходятся. Если один брат выбирает марафоны, а второй — диван, если один застревает в хроническом стрессе, а другой живёт размеренно, их молекулярные ландшафты начинают разительно отличаться. Эпигенетический анализ фиксирует: с возрастом паттерны молекулярных меток у близнецов расходятся всё сильнее, и скорость этого разрыва зависит не от прожитых лет, а от того, насколько сильно различался их образ жизни.

Экспрессия гена — процесс, при котором информация, закодированная в гене, используется для синтеза функцио-

нального продукта, обычно белка.

Наше тело не заперто в границах врождённого кода. Оно умеет перенастраивать громкость генетического звучания, заставляя одни участки кричать, а другие — молчать. И одним из самых мощных регуляторов этой громкости выступает банальная мышечная работа.

Существование самой эпигенетической регуляции — это незыблемый научный консенсус, подтверждённый десятками тысяч исследований (именно благодаря ему из одной оплодотворённой клетки развиваются сотни типов тканей). А вот границы этого процесса у взрослых людей — то, насколько глубоко и долговечно физическая нагрузка способна перепрограммировать конкретные гены, — это горячий и активно уточняющийся фронт современной науки.

Механизм первый: Химические замки на ДНК

Как именно физическое усилие способно поговорить с нитью ДНК? Первый инструмент этой беседы — метилирование.

Метилирование ДНК — присоединение небольшой химической группы (метильной группы) к определённым участкам молекулы ДНК, обычно затрудняющее считывание информации с этого участка клеточным аппаратом, без изменения самой последовательности генетического кода.

Представьте метильную группу как крошечный навесной замок, пристёгнутый к конкретной фразе генетического тек-

ста. Буквы кода под ним целы, но считывающий аппарат клетки натывается на этот барьер и проскакивает мимо. Ген оказывается приглушённым или полностью выключенным.

Важно то, что эти замки не приварены намертво. Классическая генетическая мутация — это необратимая опечатка в тексте, которая останется со всеми потомками клетки. Метилирование же динамично и обратимо. Эти блоки могут массово навешиваться или сниматься в зависимости от качества сна, диеты и, что критично для нас, интенсивности мышечных сокращений.

Механизм второй: Клеточные катушки и плотность упаковки

Второй механизм завязан не на химические замки, а на чистую пространственную геометрию. Если полностью распутать ДНК одной человеческой клетки, её длина составит около двух метров. Запихнуть эту гигантскую нить в клеточное ядро, которое меньше пылинки, — шедевр инженерной мысли природы. ДНК плотно наматывается на специальные белковые катушки.

Гистоны — специализированные белки, вокруг которых плотно накручена молекула ДНК внутри клеточного ядра, образующая структуру, напоминающую нить бус; модификация этих белков влияет на плотность упаковки и, соответственно, на доступность прилегающих участков ДНК для считывания, без изменения самой последовательности гене-

тического кода.

Эта упакованная структура называется хроматином, и плотность её намотки решает всё. Если катушка-гистон стянута до предела, считывающий аппарат физически не может подобраться к генам, даже если на них нет никаких метильных меток. Но стоит белкам-гистонам получить команду извне, они ослабляют хватку, ДНК разматывается, и доступ к коду открывается. Химические модификации гистонов работают как лебёдки, регулируя доступность генов в ответ на метаболический шторм, бушующий в работающей мышце.

Базовые принципы работы гистонов детально доказаны на клеточных культурах и животных моделях. Однако полное картирование — понимание того, какие именно типы нагрузок у человека открывают конкретные гистоновые катушки в тех или иных участках генома, — это активно развивающаяся область, где исследователям предстоит заполнить ещё немало белых пятен.

Велотренажёр, биопсия и митохондриальный взрыв

Чтобы увидеть, как эти абстрактные шестерёнки вращаются в живом теле, обратимся к прорывному исследованию группы Ромена Барре (Barrès), опубликованному в журнале *Cell Metabolism* в 2012 году. Учёные провели элегантный эксперимент: они усадили добровольцев на велотренажёры для однократной интенсивной тренировки и взяли биоп-

сию скелетных мышц до нагрузки, сразу после неё и спустя несколько часов.

Промотор — участок ДНК непосредственно перед началом гена, регулирующий, будет ли этот ген считываться и с какой интенсивностью.

Результаты оказались ошеломляюще быстрыми. Всего один сеанс мощной мышечной работы мгновенно сорвал метильные замки с промоторов генов, управляющих метаболизмом. Ярче всего это проявилось на гене *PGC-1 α* , который командует созданием новых митохондрий — энергетических станций наших клеток.

Это исследование перевернуло два важных представления:

— **Скорость ответа:** Эпигенетика — это не ленивый процесс, требующий месяцев изнурительных тренировок. Первые молекулярные переключатели срабатывают уже через несколько часов после того, как вы вспотели.

— **Прямая связь:** Эксперимент показал конкретный мост между поведением человека и биохимией клетки. Снятие метильного блока с промотора *PGC-1 α* открывает шлюзы для его экспрессии, клетка начинает штамповать нужные белки, запускается каскад обновления митохондрий, и метаболическая мощность мышцы растёт.

Разумеется, стоит избегать чрезмерных обобщений. Эф-

фект, зафиксированный командой Барре, строго доказан для конкретной группы генов и определённого типа нагрузки. Утверждать, будто любая неспешная прогулка мгновенно перепишет весь метаболический профиль у любого человека, было бы преувеличением. Но это исследование дало науке главное — верифицированный механизм. Мы увидели прямую магистраль, по которой физическое движение отдаёт оперативные команды нашему генетическому аппарату.

А теперь пришло время спуститься ещё глубже: от архитектуры макроструктур и тканей — к процессам внутри отдельной клетки и механизмам её генетической адаптации.

Малоподвижность как активная угроза, а не просто пауза. Мы привыкли относиться к сидению на диване как к отсутствию действия. К такой метаболической паузе, нейтральному режиму ожидания, в котором мышечные клетки просто выключают свет и терпеливо ждут, пока мы соизволим дойти до спортзала. Молекулярная биология раскрывает куда более опасную реальность: многочасовое сидение — это не тишина. Это агрессивная физиологическая команда. Клетка не засыпает, она запускает автономную, глубоко деструктивную молекулярную программу, перестраивающую генетический профиль в сторону хронического воспаления.

Эксперименты с вынужденной неподвижностью — от наложения гипса на здоровую конечность до строжайшего постельного режима у добровольцев — в сочетании с масштаб-

ным отслеживанием жизни современных офисных работников показывают пугающую закономерность. Как только механическая нагрузка на скелетную мышцу исчезает, клетки начинают стремительно менять экспрессию генов, кодирующих цитокины (цитокины — небольшие пептидные информационные молекулы, регулирующие межклеточные взаимодействия и, в данном контексте, запускающие и поддерживающие воспалительный процесс). Этот провоспалительный шторм не запирается локально в неработающем бедре или икроножной мышце; он просачивается в кровоток, поднимая общий уровень маркеров воспаления во всем организме. Молчащая мышца активно рассылает сигналы системного кризиса.

Зачем эволюция создала столь безжалостный механизм? Ученые предлагают глубокую и очень убедительную гипотезу. На протяжении миллионов лет нашей истории, если здоровый человек внезапно переставал двигать крупными группами мышц на протяжении дней или недель, это почти никогда не было связано с покупкой удобного кресла. Это означало катастрофу: тяжелый перелом, нападение хищника, истощение или парализующую инфекцию. В дикой природе неподвижность равнялась тяжелой травме. А травма требует немедленной, тотальной мобилизации иммунитета — мощного воспалительного и восстановительного ответа, чтобы не умереть от сепсиса и затянуть раны.

Наш геном нашел простое решение: он закрепил длитель-

ное отсутствие механического напряжения в качестве автоматического триггера тревоги. Если нога не шевелится — значит, она разорвана. Включаем воспалительный каскад. Трагедия современного человека в том, что его древняя молекулярная прошивка не видит разницы между переломом бедра и горящим дедлайном за компьютером. Сигнал запускается по совершенно мирной причине, но древние шестеренки внутри клеток послушно запускают сценарий защиты от повреждений, заливая организм низкоуровневым воспалением. Это чистейшее эволюционное несоответствие, переведенное на язык молекул.

Молекулярный ластик: Границы обратимости

Логично задаться вопросом: обречены ли мы копить эти воспалительные молекулярные шрамы с каждым годом сидячей работы, или этот сдвиг можно стереть? Генетики дают обнадеживающий ответ: наш эпигенетический профиль — это не несмываемая татуировка, а динамическая маркерная доска.

Система сохраняет гибкость в обоих направлениях. Стоит вернуть мышцам регулярную и адекватную нагрузку после долгого застоя, как включается эпигенетическая пластичность скелетных мышц (эпигенетическая пластичность скелетных мышц — способность молекулярных меток на ДНК и белках-гистонах динамически меняться в течение жизни под влиянием внешних факторов, изменяя активность ге-

нов без перестройки самого генетического кода). Химические замки на промоторах метаболических генов начинают разрушаться, возвращая профиль экспрессии обратно к здоровым, «активным» показателям. Метки чутко реагируют на то, что происходит с телом прямо сейчас, а не только на накопленные грехи прошлого.

Здесь, однако, нужно честно провести границу между доказанным фактом и научной картой, которую мы только продолжаем чертить. Почти все детальные, пошаговые данные о скорости и хирургической точности этого молекулярного отката получены на лабораторных животных и клеточных культурах, где ученые могут жестко контролировать каждый параметр среды. Исследования на людях — включая эксперименты команды Ромена Барре — обычно фиксируют вспышки эпигенетического ответа в коротком окне: от нескольких часов до пары месяцев после тренировки. Как ведут себя эти метки на дистанции в двадцать или тридцать лет у человека, который то бросает спорт, то возвращается к нему, мы знаем гораздо хуже. Многолетние лонгитюдные исследования мышечной эпигенетики у людей пока единичны. Поэтому сам принцип обратимости — это твердо установленный наукой факт, но его точные долгосрочные лимиты и объемы остаются зоной активного поиска.

Новая метрика движения

Эпигенетика напрочь разрушает привычное деление об-

раза жизни на «активный» и «сидячий», как если бы это были просто две разные стратегии расхода калорий. Массовая фитнес-культура десятилетиями твердила нам, что движение нужно ради эстетики или сжигания лишнего съеденного. Молекулярная биология меняет рамку: каждый день мы выбираем не количество потраченной энергии, а то, какой именно химический диалог будут вести наши мышцы со всем остальным телом с помощью сигнальных молекул.

Давайте сразу уберем из этого разговора чувство вины и тревогу. Реальная жизнь с ее жесткими рабочими графиками, болезнями и бытовыми обязательствами далеко не всегда позволяет выстроить идеальный спортивный режим. Наука не должна выступать в роли строгого надзирателя, сыплющего догмами в духе «вы обязаны проводить в зале пять часов в неделю». Взгляните на это иначе: движение — это ваш прямой молекулярный рычаг управления геномом.

Как продемонстрировали Ромен Барре и его коллеги в исследовании 2012 года, опубликованном в журнале *Cell Metabolism*, всего один интенсивный сеанс на велотренажере способен за считанные часы сорвать метильные блоки с критически важных метаболических генов. Если осознать этот факт, ценность даже самой короткой прогулки резко возрастает. Это больше не символический жест и не жалкая попытка сжечь сотую долю калорий. Это моментальное обновление клеточного софта.

Эпигенетический регулятор громкости работает плавно,

а не по принципу порогового выключателя, который срабатывает только у профессиональных атлетов. Клеточные системы откликаются на механический стимул градуированно. Разумеется, регулярные и мощные тренировки дают куда более глубокие и устойчивые сдвиги в упаковке ДНК — статистика говорит об этом прямо. Но даже скромные, реалистичные крупницы движения, втиснутые в сумасшедший рабочий день, запускают реальный, измеримый на микроуровне физиологический процесс.

Итог

Граница между поведением человека и его фундаментальной биологией стерта. Скелетная мышца — не бездумный исполнитель приказов, а самый сложный молекулярный радар. Она непрерывно сканирует наш образ жизни и мгновенно переводит механическое напряжение в доступность генетического кода, используя два ключевых инструмента: метилирование ДНК (метилирование ДНК — присоединение небольших химических групп к молекуле ДНК, приглушающее считывание информации без изменения самого генетического кода) и модификацию гистонов (модификация гистонов — химические изменения белков-катушек, вокруг которых намотана ДНК, регулирующие плотность её упаковки и физическую доступность для считывания).

В этой системе координат неподвижность — это активный сигнал бедствия из нашего эволюционного прошлого,

заполняющий тело тихим воспалением. Физическое усилие — это быстрый, высокопластичный сброс настроек до здорового уровня. Теперь, когда мы разобрались, как отчаянно мышечные клетки нуждаются в механическом движении для управления собственными генами, пора поднять взгляд выше — к главному дирижеру всей этой системы.

Список литературы главы

Fraga M.F., Ballestar E., Paz M.F. et al. 2005. «Epigenetic differences arise during the lifetime of monozygotic twins». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102 (30), 10604—10609.

Ling C., Rönn T. 2019. «Epigenetics in human obesity and type 2 diabetes». *Cell Metabolism*, 29 (5), 1028—1044.

Zhang Y., Reinberg D. 2001. «Transcription regulation by histone methylation: interplay between different covalent modifications of the core histone tails». *Genes & Development*, 15 (18), 2343—2360.

Barrès R., Yan J., Egan B. et al. 2012. «Acute exercise remodels promoter methylation in human skeletal muscle». *Cell Metabolism*, 15 (3), 405—411.

Handschin C., Spiegelman B.M. 2008. «The role of exercise and PGC1 α in inflammation and chronic disease». *Nature*, 454, 463—469; Booth F.W., Roberts C.K., Laye M.J. 2012. «Lack of exercise is a major cause of chronic diseases». *Comprehensive Physiology*, 2 (2), 1143—1211.

Booth F.W., Roberts C.K., Laye M.J. 2012. «Lack of exercise is a major cause of chronic diseases». *Comprehensive Physiology*, 2 (2), 1143—1211.

Lindholm M.E., Marabita F., Gomez-Cabrero D. et al. 2014. «An integrative analysis reveals coordinated reprogramming of the epigenome and the transcriptome in human skeletal muscle after training». *Epigenetics*, 9 (12), 1557—1569.

Термины для глоссария

Эпигенетика — изучение изменений активности генов, не затрагивающих последовательность самой ДНК, но способных передаваться при делении клеток.

Метилирование ДНК — присоединение небольшой химической группы к определённым участкам молекулы ДНК, обычно затрудняющее считывание информации с этого участка клеточным аппаратом, без изменения самой последовательности генетического кода.

Гистоны — специализированные белки, вокруг которых плотно накручена молекула ДНК внутри клеточного ядра; модификация этих белков влияет на плотность упаковки и, соответственно, на доступность прилегающих участков ДНК для считывания.

Экспрессия гена — процесс, при котором информация, закодированная в гене, используется для синтеза функционального продукта, обычно белка.

Пометка степени доказательности

Установленный консенсус: существование эпигенетической регуляции экспрессии генов через метилирование ДНК и модификацию гистонов; расхождение эпигенетического профиля однояйцевых близнецов с возрастом и различием образа жизни; снижение метилирования промотора гена PGC-1 α в скелетной мышце после однократной физической нагрузки (исследование Barrès et al., 2012); обратимый, динамический характер эпигенетических меток в отличие от необратимых мутаций ДНК.

Убедительные, но не окончательные данные: связь длительной малоподвижности с провоспалительным сдвигом профиля экспрессии генов в скелетной мышце; степень и скорость обратимости эпигенетических изменений при возобновлении регулярной нагрузки в долгосрочной перспективе (данные преимущественно получены на интервалах от часов до нескольких месяцев, а не десятилетий).

Теоретическая модель: эволюционное объяснение того, почему малоподвижность могла закрепиться как «косвенный маркер» болезни или травмы, запускающий провоспалительный клеточный ответ независимо от истинной причины неподвижности, — правдоподобная, но не поддающаяся прямой экспериментальной проверке эволюционная гипотеза.

ЧАСТЬ II. АРХИТЕКТУРА УПРАВЛЕНИЯ

ГЛАВА 4. Мозг-предсказатель

Вы тянетесь к большой картонной коробке на полу, будучи уверенными, что она доверху набита книгами. Вы настраиваете пальцы, напрягаете спину, совершаете усилие и.. рука с нелепым рывком взмывает вверх, увлекая за собой пустой легкий картон. Тело на секунду теряет равновесие, а в сознании с явным опозданием вспыхивает: «А, она пустая!»

Этот секундный конфуз — не просто моторный сбой. Это редкая лазейка, позволяющая заглянуть в самый глубокий и парадоксальный секрет нашей нервной системы. Последние несколько десятилетий нейронаука только и делает, что пытается оправиться от осознания этого секрета: наши интуитивные представления о том, как мозг управляет телом, оказались полностью перевёрнуты с ног на голову.

Аппаратную часть — кости, суставы и эпигенетические переключатели в клетках — мы разобрали. Пора переходить к софту. Как именно мозг решает, что делать в следующую миллисекунду?

Крах калькулятора в нашей голове

Классический учебник физиологии прошлого века рисовал понятную, но глубоко ошибочную схему. Её называют реактивной, или моделью «снизу вверх» (bottom-up). Согласно ей, органы чувств собирают информацию об окружающем мире, сигнал ползёт по восходящим путям в кору головного мозга, тот лениво анализирует данные (как калькулятор, ждущий ввода цифр) и отправляет вниз приказ мышцам. В этой схеме ощущение всегда первично, а действие — лишь вторичная реакция.

История с коробкой разбивает эту идиллию вдребезги. Если бы мозг был реактивным компьютером, никакого рывка бы не случилось. Тактильные рецепторы пальцев за первые же миллисекунды контакта сообщили бы о нулевом сопротивлении картона, и рука подняла бы коробку плавно, с идеальной точностью.

Но мозг не стал ждать отчёта от рецепторов. Он сыграл на опережение. Опираясь на прошлый опыт — визуальный размер коробки, память о тяжести книг, — он за доли секунды до касания собрал прогноз и отдал мышцам бескомпромиссную команду. И когда реальность не совпала с ожиданиями, система выдала ошибку в виде нелепого взмаха.

Нейробиология пришла к ошеломляющему выводу: наш мозг не просто реагирует на мир. Он его прогнозирует.

Предиктивное кодирование — теория, согласно которой мозг непрерывно генерирует прогнозы о состоянии тела и

окружающей среды и сравнивает их с реальным сенсорным потоком, а не просто пассивно обрабатывает поступающие сигналы с нуля.

Высокоуровневые отделы коры непрерывно рассылают вниз свои ожидания. Большая часть нашей нервной энергии тратится не на анализ того, что видят глаза или чувствуют пальцы, а на калькуляцию ошибки предсказания — разницы между тем, что мы ждали, и тем, что получили.

Принцип свободной энергии и щекотка

Самую масштабную попытку объединить предиктивное кодирование в единый закон предпринял британский нейрочеловек Карл Фристон.

Принцип свободной энергии — теоретическая модель Карла Фристона, согласно которой мозг стремится минимизировать разницу между собственным прогнозом и реальным сенсорным входом, то есть минимизировать так называемую «неожиданность» поступающей информации.

Фристон математически обосновал, что мозг панически боится неожиданностей и хаоса, поэтому постоянно подгоняет свои внутренние чертежи под внешние сигналы, минимизируя эту самую «свободную энергию» (термин заимствован из статистической физики).

Принцип Фристона — это монументальный теоретический купол. На уровне конкретных сенсорных и моторных систем он подтверждается тоннами эмпирических данных.

Однако идея того, что этот закон исчерпывающе объясняет абсолютно все процессы в нашей голове, до сих пор вызывает яростные споры. Многие исследователи видят в принципе свободной энергии скорее красивую и гибкую математическую рамку, чем конкретную, однозначно проверяемую гипотезу для отдельных нейронных цепей. Но на уровне управления движениями предиктивный подход доказан железно.

Каждый раз, когда вы решаете пошевелить рукой, мозг создаёт детальный внутренний план.

Эфферентная копия — внутренняя модель ожидаемых сенсорных последствий движения, включая проприоцептивные, тактильные и зрительные сигналы, которые должны возникнуть в результате его выполнения.

Именно поэтому вы не можете пощекотать самого себя — феномен, многократно подтверждённый в лабораторных исследованиях. Ваша рука двигается к боку, но мозг уже знает точные координаты и силу нажатия. Он сверяет эфферентную копию с входящим сигналом, понимает, что ошибка предсказания равна нулю, и просто приглушает сенсорный поток как полностью предсказанный, а потому «неинтересный» шум.

Решение до осознания: Кто здесь босс?

Но если мозг всё прогнозирует наперёд, то где во всём этом процессе находимся мы сами? Мы подходим к одной из самых взрывоопасных зон современной науки: мозг начина-

ет готовить действие до того, как мы успеваем это осознать.

В классических экспериментах нейробиологи регистрировали электрическую активность коры в момент, когда добровольцы выполняли простое произвольное движение — например, сгибали палец. Участников просили максимально точно отметить по часам момент, когда у них субъективно появилось осознанное намерение совершить это действие.

Выяснилось, что специфический всплеск активности, отвечающий за планирование движения — потенциал готовности, — закономерно регистрируется за некоторое время до того, как человек успевает подумать: «О, я хочу согнуть палец». Мозг запускает конвейер сборки движения до того, как сознание ставит на этот приказ свою визу.

Вокруг интерпретации этих миллисекунд полыхают яростные философские войны. Радикалы поспешили объявить, что свобода воли — иллюзия, а сознание — лишь пассажир на заднем сиденье биологического автомата. Мы оставим эти обобщения за рамками физиологии движения, поскольку точное измерение момента «осознания» — методологический ад, а сам потенциал готовности можно трактовать по-разному. Философские выводы здесь явно опережают доказательную базу.

Однако чистый физиологический факт непоколебим: колоссальная часть работы по подготовке нашего движения разворачивается на подсознательных этажах нейронных сетей. Движение рождается из глубинного прогноза, а не раз-

вращивается исключительно по команде осознанной воли в реальном времени.

Проблема Бернштейна: Компьютерный коллапс

Зачем вообще нужна такая сложность с прогнозами и дифферентными копиями? Дело в том, что перед мозгом стоит вычислительная задача, которая должна была сжечь его биологические процессоры ещё на заре эволюции. Это проблема управления телом, обладающим астрономическим числом степеней свободы.

Человеческое тело — это шарнирный кошмар для любого инженера. У нас сотни суставов. Каждый из них может вращаться в нескольких направлениях. Их приводят в действие десятки мышц, каждая из которых способна сокращаться с миллионом оттенков интенсивности. Попробуйте просто протянуть руку за чашкой на столе. Чтобы совершить это тривиальное действие, нужно одновременно рассчитать углы наклона плеча, локтя, лучезапястного сустава, фаланг пальцев и скоординировать работу огромного мышечного ансамбля. Количество независимых параметров стремится к бесконечности.

Эту фундаментальную дилемму в 1947 году в своей эпохальной работе «О построении движений» сформулировал выдающийся советский физиолог Николай Александрович Бернштейн.

Проблема избыточных степеней свободы (проблема Берн-

штейна) — вопрос о том, каким образом центральная нервная система способна выбирать и координировать конкретную эффективную комбинацию мышечных сокращений для достижения двигательной цели в условиях огромного количества независимых параметров движения.

До Бернштейна физиология, опираясь на рефлекторную теорию Шеррингтона, жила в уютной иллюзии, будто мозг работает как телефонный коммутатор или строгий дирижёр, отправляя индивидуальный, изолированный приказ от центра к каждой конкретной мышце.

Но Бернштейн на основе тщательного анализа реальных двигательных паттернов доказал: если бы мозг управлял телом в таком ручном режиме, выписывая отдельные директивы каждой мышечной единице, мы бы просто застывали на месте. Никаких вычислительных мощностей живого организма не хватило бы, чтобы последовательно перебрать астрономическое количество вариантов и совершить один точный шаг в реальном времени. Система тотального командного управления «сверху вниз» в отношении каждой мышцы — это эволюционный тупик.

Мышечный джаз: как обойти вычислительный тупик

Решение, к которому в 1947 году пришёл выдающийся физиолог Николай Бернштейн в своей фундаментальной работе «О построении движений», оказалось спасительным для нашей нервной системы. Мозг не занимается микроме-

неджментом. Он не командует каждой мышцей по отдельности. Вместо этого он объединяет их в слаженно работающие ансамбли.

Моторные синергии — скоординированные группы мышц, управляемые нервной системой как единое функциональное целое, что радикально снижает эффективное число независимых параметров, которые требуется контролировать при выполнении движения, решая тем самым проблему избыточных степеней свободы.

Не стоит путать синергию с банальным хором, где все просто тянут одну ноту в унисон. Настоящая синергия — это сыгранный джазовый бэнд с фантастической взаимовыручкой. Если во время движения одна мышца внезапно сдаёт позиции — из-за секундной усталости или непредвиденного внешнего сопротивления, — остальные участники ансамбля тут же, без всякой команды из сознания, увеличивают собственный вклад. Финальный результат — траектория вашей конечности или стабильность позы — остаётся идеальным, какие бы флуктуации ни происходили на уровне отдельных волокон.

Современный американский физиолог Марк Латаш вместе с коллегами разработал математический аппарат, способный буквально в цифрах измерить эту компенсаторную координацию. Десятилетия экспериментов на огромном спектре задач — от банального удержания равновесия до ювелирных манипуляций пальцами — устойчиво подтверждают:

наше тело функционирует именно так.

Вместо того чтобы жонглировать десятками независимых переменных, мозг крутит всего несколько высокоуровневых регуляторов. Это переводит вычислительную задачу из разряда неразрешимых в реальном времени в категорию секундных операций. Именно это обеспечивает ту поразительную гибкость, с которой мы достигаем одной и той же цели множеством траекторий, уворачиваясь от случайных помех.

Здесь проходит граница доказанного: сам факт существования этих компенсирующих взаимосвязей между мышцами экспериментально подтверждён и не подлежит сомнению. А вот то, как именно центральная нервная система конструирует, хранит в памяти и выбирает конкретный набор синергий под конкретную секунду — всё ещё открытое поле для науки. Полная нейрофизиологическая карта на уровне конкретных нейронных цепей пока не завершена.

Мозжечок: Симулятор в затылке

Чтобы предиктивная машина работала без сбоев, ей нужен мощный специализированный сопроцессор. Встречайте главного предсказателя нашего тела.

Мозжечок — отдел мозга, расположенный в задней части черепа под затылочными долями больших полушарий, отвечающий за координацию движений и, согласно современным представлениям, за формирование внутренних прогнозов ожидаемых последствий двигательных команд.

Долгое время в клинической литературе мозжечку отводили скромную роль «сглаживающего фильтра», который просто полирует грубые команды больших полушарий, обеспечивая механическую плавность. Современные данные функциональной нейровизуализации рисуют куда более интригующую картину: мозжечок играет ключевую роль в создании эфферентной копии — того самого упреждающего эскиза наших ощущений. Он непрерывно сопоставляет виртуальный прогноз с суровым сенсорным потоком из реального мира по мере выполнения движения.

Когда мозжечок повреждён, человек сталкивается с атаксией — тяжелым нарушением координации. Но это не просто механическая «потеря плавности». Пациент теряет способность заглядывать в будущее своего тела. Его мозг больше не может спрогнозировать сенсорные последствия собственного шага. В результате система переходит на аварийный, мучительно медленный режим управления: движение делается вслепую, ошибка фиксируется постфактум, запускается запоздалая коррекция, и тело совершает характерные ломаные рывки. Нарушения при атаксии — это наглядная демонстрация того, насколько наше повседневное изящество зависит от невидимой, молниеносной работы прогностического софта мозжечка.

Перепрошивка движений: От хаоса к автоматизму

Вся эта нейронная архитектура полностью меняет наш

взгляд на обучение новым физическим навыкам — будь то сложное упражнение, реабилитация после травмы или освоение нового паттерна ходьбы.

Освоить новое движение — это не значит механически «зазубрить» правильный порядок сокращения бицепса и трицепса. Вы занимаетесь калибровкой своего прогностического симулятора. Мозгу необходимо собрать критическую массу опыта взаимодействия с новой задачей, чтобы его прогнозы совпали с физической реальностью, а мышцы наконец сгруппировались в эффективные синергии.

Вспомните, как неловко выглядит любая первая попытка: движение разбито на угловатые компоненты, вы тратите прокрутку ментальной энергии, пытаетесь уследить за каждым суставом. Адекватных шаблонов ещё нет, и мозг вынужден скатываться к медленной, сознательной коррекции постфактум.

Отсюда логически вытекает важный вывод: механическое повторение упражнения без жесткой обратной связи о результате практически бесполезно. Если прогностический движок учится на разнице между ожиданиями и реальностью, то дефицит информации о том, насколько именно вы промахнулись, просто лишает нервную систему сырья для калибровки внутренних моделей.

Напоследок стоит переоценить расхожее представление о «контроле над телом». В быту кажется, что высший уровень мастерства — это способность осознанно контролировать каждый миллиметр своего движения. Биология утвер-

ждает обратное. Настоящий триумф моторного контроля — это способность сознания полностью устранившись из процесса. Эффективное мастерство наступает тогда, когда мозг успешно делегирует микроменеджмент отточенным автоматическим синергиям, освобождая дефицитные ресурсы внимания для глобальных задач — стратегии, тактики и чтения меняющейся обстановки.

Практический вывод

Человеческий мозг — это не пассивный регистратор внешних раздражителей, а дерзкая прогностическая машина. Он живет на опережение, постоянно генерируя модели тела и мира, используя реальные ощущения лишь как инструмент для работы над ошибками. Эта логика предиктивного кодирования, формализованная в математическом принципе свободной энергии Карла Фристана, подтверждается всем: от курьёзов с неожиданно легкими коробками до потенциалов готовности, возникающих в коре до нашего осознанного решения. При этом вычислительный коллапс от управления сложнейшим телом преодолевается за счет моторных синергий — концепции, выдвинутой Николаем Бернштейном и детально развитой Марком Латашем, где мозжечок выступает главным инженером этих телесных прогнозов.

Но архитектура сознательного и полусознательного контроля — лишь вершина айсберга. Под ней лежит ещё более

древний, полностью автоматический пласт управления.

Список литературы главы

Friston K. 2010. «The free-energy principle: a unified brain theory?». *Nature Reviews Neuroscience*, 11 (2), 127—138.

Wolpert D.M., Ghahramani Z., Jordan M.I. 1995. «An internal model for sensorimotor integration». *Science*, 269 (5232), 1880—1882.

Blakemore S.-J., Wolpert D.M., Frith C.D. 1998. «Central cancellation of self-produced tickle sensation». *Nature Neuroscience*, 1 (7), 635—640.

Libet B., Gleason C.A., Wright E.W., Pearl D.K. 1983. «Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential)». *Brain*, 106 (3), 623—642.

Schurger A., Sitt J.D., Dehaene S. 2012. «An accumulator model for spontaneous neural activity prior to self-initiated movement». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (42), E2904—E2913.

Бернштейн Н. А. 1947. О построении движений. Медгиз.

Latash M.L. 2008. *Synergy*. Oxford University Press.

Latash M.L., Scholz J.P., Schöner G. 2007. «Toward a new theory of motor synergies». *Motor Control*, 11 (3), 276—308.

Wolpert D.M., Miall R.C., Kawato M. 1998. «Internal models in the cerebellum». *Trends in Cognitive Sciences*, 2 (9), 338—347.

Bastian A.J. 2006. «Learning to predict the future: the cerebellum adapts feedforward movement control». *Current Opinion in Neurobiology*, 16 (6), 645—649.

Термины для глоссария

Предиктивное кодирование — теория, согласно которой мозг непрерывно генерирует прогнозы о состоянии тела и окружающей среды и сравнивает их с реальным сенсорным потоком, а не просто пассивно обрабатывает поступающие сигналы с нуля.

Свободная энергия (принцип) — теоретическая модель Карла Фристана, согласно которой мозг стремится минимизировать разницу между собственным прогнозом и реальным сенсорным входом.

Моторные синергии — скоординированные группы мышц, управляемые нервной системой как единое функциональное целое, что решает проблему избыточных степеней свободы при управлении движением.

Мозжечок — отдел мозга, отвечающий за координацию движений и, согласно современным представлениям, за формирование внутренних прогнозов ожидаемых сенсорных последствий двигательных команд.

Пометка степени доказательности

Установленный консенсус: существование эфферентной копии и её роли в приглушении предсказуемых сенсорных

последствий собственных движений (в частности, эффект невозможности эффективно пощекотать самого себя); наличие подготовительной мозговой активности, предшествующей субъективному осознанию намерения совершить простое движение; существование скоординированных, взаимно компенсирующих синергий между группами мышц при выполнении двигательных задач; роль мозжечка в формировании и уточнении двигательных прогнозов, подтверждённая клиническими данными о нарушениях координации при его повреждении.

Убедительные, но не окончательные данные: конкретные нейрофизиологические механизмы формирования, хранения и выбора синергий на уровне отдельных нейронных цепей; степень эффективности сенсорной обратной связи как ключевого фактора обучения новому движению.

Теоретическая модель: принцип свободной энергии Карла Фристана как единая, всеобъемлющая теория работы мозга в целом — широко влиятельная, но остающаяся предметом методологической дискуссии математическая рамка; философская интерпретация экспериментов о предшествующей осознанию мозговой активности как довода против существования свободы воли — вопрос, выходящий за рамки установленных физиологических данных и остающийся предметом открытой философской дискуссии.

ГЛАВА 5. Вегетативный пульт

Скрытый автопилот нашего тела

Мы тратим прорву ментальных усилий, выбирая маршрут для вечерней пробежки или решая, стоит ли протянуть руку за очередной чашкой эспresso. Предыдущий анализ мозга-предсказателя наглядно показал, как наше сознание дирижирует этими произвольными движениями. Но пока вы читаете эти строки, в глубоком подполье организма работает автономный суперкомпьютер, о существовании которого мы даже не задумываемся.

Вегетативная нервная система — это скрытый автопилот, круглосуточно управляющий сердцебиением, дыханием, проталкиванием пищи по кишечнику и секрецией желёз. Мы замечаем эту фабрику только тогда, когда на конвейере случается авария. Но этот эволюционно древний пласт регуляции делает нечто большее, чем просто поддерживает в нас жизнь: он настраивает базовый физиологический холст. Без его правильной калибровки ни одно осознанное движение не будет точным — тело просто застрянет в тисках паразитного напряжения. И у этого пульта управления, переключающего нас между режимами выживания и безопасности, есть один потрясающий ручной рычаг — наше дыхание.

Дыхательный тумблер

Попробуйте прямо сейчас сделать глубокий вдох через нос и максимально затянуть, растянуть выдох. Что изменилось? Секунда — и невидимый обруч, сжимавший грудную клетку, ослабевает, сердце сбавляет обороты, а в теле появляется странное ощущение плотности и устойчивости.

Этот фокус настолько стар, что осел во всех культурах — от гималайских аскетов до дежурного бытового совета «вдохни поглубже, прежде чем отвечать». Мы привыкли списывать это на психологию, но с биологической точки зрения здесь кроется чистый парадокс. С какой стати банальное изменение ритма дыхания — процесса, созданного для примитивного газообмена в лёгких, — за пару ударов сердца переписывает мышечный тонус, замедляет пульс и полностью меняет оценку уровня угрозы в мозге? Разгадка этой тайны ведет нас к одной из самых обсуждаемых концепций современной психофизиологии — поливагальной теории.

Крах одномерного стресса

Долгое время учебники предлагали нам плоскую, двухмерную картинку. Вегетативную регуляцию рисовали как перетягивание каната: на одном конце — яростный стресс, готовый сорвать тело в драку или бегство, на другом — блаженное расслабление. Нажал на газ — пульс взлетел; ударил по тормозам — затих. Удобно, просто и в корне неверно.

Эта линейная модель упускает колоссальный биологический нюанс. Дело в том, что «покой» покою рознь. Есть

огромная функциональная разница между включенным, безопасным спокойствием, когда вы расслаблены, но готовы к ювелирному движению или общению, и мертвенным оцепенением загнанного в угол зверя, чьё сердце бьётся медленно вовсе не от хорошей жизни.

В 2011 году американский нейробиолог Стивен Порджес в своей книге «The Polyvagal Theory» предложил взорвать эту двухполюсную схему. Он показал, что перед нами не прямая линия, а вертикальная эволюционная иерархия из нескольких независимых нейронных контуров, каждый из которых диктует свой уникальный поведенческий сценарий.

Здесь стоит сразу включить здоровый научный скепсис. Идеи Порджеса мгновенно прижились в клинической психотерапии и телесных практиках, но академические нейробиологи до сих пор ломают об них копыя. Учёные справедливо критикуют теорию за излишне смелую эволюционную хронологию развития нервных ветвей и сомневаются, что они работают настолько изолированно, как считает Порджес. Но если отшелушить анатомические споры, главный тезис остаётся непоколебимым: наши внутренние состояния организованы иерархически.

Информационная супермагистраль

Чтобы понять, как устроена эта иерархия, нужно взглянуть на главный кабель парасимпатической системы.

Блуждающий нерв — главный нерв парасимпатической

нервной системы, связывающий мозг с сердцем, лёгкими и органами пищеварения; название «блуждающий» отражает его необычайно широкое, разветвлённое распространение по телу.

Это десятая пара так называемых черепных нервов. В отличие от обычных проводников, выходящих из спинного мозга, блуждающий нерв подключается напрямую к главному процессору — стволу головного мозга (продолговатому мозгу). Оттуда он спускается через шею в грудную и брюшную полости, оплетая гортань, лёгкие, сердце, желудок и кишечник. Его латинское название *vagus* («бродяга») абсолютно оправданно: он буквально блуждает по всему телу, пронизывая ключевые узлы жизнеобеспечения.

Именно этот гигантский кабель служит фундаментом парасимпатической нервной системы (части вегетативной нервной системы, отвечающей за восстановление, отдых и пищеварение; она работает как функциональный противовес симпатической системе, отвечающей за мобилизацию и реакцию на угрозу). Динамический баланс этого тандема управляет всей нашей внутренней кухней. Когда симпатическая система объявляет тревогу, сердце колотит, кровь хлыщет к скелетным мышцам, а пищеварение закрывается на карантин. Блуждающий нерв делает ровно противоположное: мягко гасит пульс, запускает переваривание пищи и включает режим восстановления ресурсов.

Но самое потрясающее — направление движения это-

го трафика. Мы привыкли думать, что мозг — это авторитарный директор, рассылающий приказы органам «сверху вниз». Анатомия блуждающего нерва переворачивает эту логику: около 80% его волокон являются афферентными, то есть восходящими. Это круглосуточный сенсорный поток «снизу вверх». Сердце, лёгкие и кишечник непрерывно отправляют в черепную коробку подробнейшие рапорты о своём состоянии. Центральная нервная система использует этот массив данных как топливо для предиктивного моделирования. Проще говоря, то, что вы сейчас чувствуете и о чём думаете, в огромной степени формируется ежесекундными отчётами из ваших внутренних органов.

Три этажа выживания и бессознательный радар

Порджес разложил эту двустороннюю магистраль на три исторических этажа выживания, сменяющих друг друга от древних к новым:

— **Дорсальная (задняя) ветвь блуждающего нерва.** Самый глубокий, древний подвал, унаследованный нами от примитивных позвоночных. Когда угроза становится абсолютной, а бегство невозможным, этот контур

— врубает режим тотального оцепенения: метаболизм падает, тело замирает. Это защитный манёвр ящерицы, превратившейся мёртвой.

— **Симпатическая нервная система.** Промежуточный этаж активной мобилизации, обеспечивающий сценарий «борьбы или бегства».

— **Вентральная (передняя) ветвь блуждающего нерва.** Вершина эволюционной архитектуры, характерная преимущественно для млекопитающих и достигшая расцвета у человека. Этот контур связан с состоянием *социальной вовлечённости* — режимом физиологической безопасности. Только здесь организм способен к тонкой коммуникации, эмоциональной регуляции и тому самому качественно, пластичному движению, которое не сковано защитным панцирем.

Внешне «тишина» дорсального оцепенения и «тишина» вентрального спокойствия могут казаться похожими, но для биологии вашего тела они лежат на разных планетах. Как же организм решает, на какой этаж спуститься или подняться в следующую секунду? За это отвечает внутренний бессознательный радар.

Нейроцепция — концепция Порджеса, обозначающая предполагаемый неосознаваемый, автоматический процесс, посредством которого нервная система непрерывно, без участия сознательной оценки, сканирует внутреннюю и внешнюю среду на предмет признаков безопасности или угрозы и на основании этой оценки переключает организм между

тремя описанными выше вегетативными состояниями.

Тот факт, что наша вегетативная система переключает режимы мгновенно и автоматически — задолго до того, как неокортекс успеет осознать, проанализировать и назвать угрозу словом, — твёрдо доказан огромным массивом независимых исследований быстрых реакций. Однако сама «нейроцепция» как изолированный нейробиологический модуль со специфическим анатомическим субстратом в мозге — это пока лишь изящная теоретическая модель Порджеса. Учёным ещё только предстоит проложить точную карту конкретных нейронных цепей, которые выполняют эту круглосуточную работу по сканированию мира.

Вагусный тонус и кардио-ритм здорового человека

Давайте перейдём к параметрам, которые можно измерить на практике, оставив в стороне чисто теоретические построения. Нам нужен надёжный физиологический индикатор, и у науки он есть.

Вагусный тонус — уровень фоновой активности блуждающего нерва в состоянии покоя, отражающий способность парасимпатической системы эффективно тормозить и регулировать сердечную деятельность; рассматривается как маркер общей способности нервной системы к саморегуляции.

Это не умозрительная абстракция, а конкретное число, которое мы можем считать с обычной электрокардиограммы через анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР).

Вариабельность сердечного ритма (ВСР) — колебания интервалов времени между последовательными сердечными сокращениями; индикатор баланса симпатической и парасимпатической активности, а не просто средняя частота пульса как таковая.

Бытовая интуиция подсказывает: здоровое сердце должно стучать ровно, словно идеальный швейцарский хронометр. Физиология опровергает это представление. Сердце тренированного, адаптированного человека в состоянии покоя ведёт себя скорее как опытный джазовый барабанщик — оно постоянно смещает микроинтервалы между ударами. Этот едва заметный хаос — результат ежесекундной ювелирной подстройки внутренних систем. Блуждающий нерв постоянно корректирует пульс под сиюминутные нужды организма. Самое наглядное проявление этой механики — дыхательная синусовая аритмия, при которой сердце слегка ускоряется на вдохе и замедляет свой ход на выдохе.

Высокий показатель ВСР в состоянии покоя напрямую указывает на отличный вагусный тонус. Но здесь скрыт важный нюанс: высокая изменчивость ритма означает не перманентный транс или расслабленность, а вегетативную гибкость. Это способность нервной системы мгновенно переключать регистры — мгновенно мобилизовать ресурсы для тяжёлого спринта и так же быстро возвращаться в режим глубокого восстановления, как только угроза миновала. Обширные эпидемиологические данные подтверждают: имен-

но пластичность переключения, а не статичное доминирование торможения, служит главным маркером сердечно-сосудистого здоровья и общей биологической выносливости.

Дыхательный резонанс: Прямое управление вагусом

Как именно глубина вдоха переписывает наше состояние? Вся магия завязана на упомянутой дыхательной синусовой аритмии. Мы можем перехватить ручное управление этим автоматическим процессом, осознанно меняя темп и глубину дыхания. Растягивая выдох, мы искусственно увеличиваем амплитуду сердечных колебаний и заставляем вагусный тормоз работать на полную мощность. Поверхностное, частое дыхание, характерное для паники, наоборот, выравнивает интервалы и отключает парасимпатическую защиту.

В этой области существует особое направление — резонансное дыхание.

Резонансное дыхание — дыхание с частотой, близкой к определённому индивидуальному резонансу сердечно-сосудистой системы, который для большинства взрослых людей находится в диапазоне около шести дыхательных циклов в минуту.

В 2014 году исследователи Пол Лерер и Ричард Гевирц (Lehrer & Gevirtz) опубликовали в журнале *Frontiers in Psychology* масштабный обзор данных, посвящённый биологической обратной связи по ВСР. Эта методика позволяет человеку в реальном времени видеть графики пульса на мо-

ниторе и с помощью размеренного дыхания синхронизировать его с дыхательными циклами. Вывод авторов интригует: если практиковать резонансное дыхание регулярно в течение нескольких недель, базовый вагусный тонус в состоянии покоя необратимо перестраивается в сторону повышения. Вместе с этим падает общая тревожность и стабилизируется стрессовая реактивность организма.

Где здесь пролегает граница твёрдого научного знания? Сам физиологический мост — тот факт, что глубина и частота дыхания сиюминутно меняют активность блуждающего нерва и показатели ВСП через синусовую аритмию, — доказан железобетонно и легко воспроизводится в любой лаборатории. А вот долгосрочные терапевтические триумфы резонансного дыхания пока остаются в зоне убедительных, но не окончательных данных. Многие клинические исследования грешат малыми выборками и отсутствием безупречных контрольных групп. Из-за этого трудно отделить чистый биологический эффект дыхания от банального плацебо: эффекта ожидания, отдыха или простого внимания к собственному телу.

Нервный холст для красивого шага

Физическое движение никогда не рождается в вакууме — ему требуется определённый вегетативный холст. Если тело сковано симпатической мобилизацией или замерло в дорсальном оцепенении, мышечный тонус и моторная готов-

ность изменятся. Движения станут защитными, жёсткими, лишёнными той ювелирной координации, которая доступна в режиме безопасности. Вегетативный статус — это не изолированный фоновый шум, а базовое условие, определяющее работу моторных синергий и предиктивного контроля.

Практическая ценность этой связи огромна. Дыхание — один из редчайших автоматических параметров, который мы можем мгновенно перевести на ручное управление. Мы не способны волевым усилием скорректировать метилирование собственной ДНК или переписать моторные программы в мозжечке, но мы можем замедлить вдох. Через синусовую аритмию этот простой акт даёт реальный, физический рычаг давления на вегетатику.

Анатомическое устройство блуждающего нерва, где 80% волокон работают на передачу данных снизу вверх, полностью разрушает старую идею о том, что мозг безраздельно властвует над телом. Связь двунаправленная. Меняя физиологический статус периферии с помощью дыхания или движения, мы напрямую трансформируем архитектуру своих мыслей и эмоций. Этот восходящий поток данных станет сквозной темой для понимания того, как работает нейропластичность и как наш мозг преодолевает хроническую боль.

Практический вывод

Наше внутреннее состояние — это не плоский тумблер между паникой и покоем, а многоуровневая эволюционная

иерархия. Блуждающий нерв служит в ней ключевой двусторонней супермагистралью, которая снабжает мозг круглосуточными отчётами из глубин организма. Уровень этой фоновой активности — вагусный тонус — легко считывается через вариабельность сердечного ритма и отражает нашу способность адаптироваться к вызовам среды. Благодаря механизму дыхательной синусовой аритмии и практике резонансного дыхания мы получаем прямой доступ к управлению этой сложной системой. Это знание не является чудодейственным средством от всех недугов, но оно даёт чёткий биологический ответ на вопрос, почему спокойный выдох способен мгновенно вернуть телу баланс. Теперь мы готовы двигаться дальше — к тому, как кора головного мозга строит и непрерывно обновляет виртуальную карту нашего физического Я.

Список литературы главы

Porges S.W. 2011. The Polyvagal Theory: Neurophysiological Foundations of Emotions, Attachment, Communication, and Self-regulation. W.W. Norton & Company.

Grossman P., Taylor E.W. 2007. «Toward understanding respiratory sinus arrhythmia: relations to cardiac vagal tone, evolution and biobehavioral functions». Biological Psychology, 74 (2), 263—285.

Berthoud H.-R., Neuhuber W.L. 2000. «Functional and chemical anatomy of the afferent vagal system». Autonomic

Neuroscience, 85 (1—3), 1—17.

Porges S.W. 2011. The Polyvagal Theory: Neurophysiological Foundations of Emotions, Attachment, Communication, and Self-regulation. W.W. Norton & Company.

Berntson G.G., Cacioppo J.T., Quigley K.S. 1993. «Respiratory sinus arrhythmia: autonomic origins, physiological mechanisms, and psychophysiological implications». *Psychophysiology*, 30 (2), 183—196.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.