Внутренняя рыба. История человеческого тела с древнейших времен до наших дней

Автор:
Нил Шубин

Внутренняя рыба. История человеческого тела с древнейших времен до наших дней

Нил Шубин

Элементы (Corpus)

Почему мы выглядим так, как выглядим? Что общего между человеческими руками и, допустим, крылышками бабочки? И как связаны между собой волосы, молочные железы и сложное устройство нашего уха? Эти вопросы только кажутся праздными – на деле ответы на них позволят нам лучше понять строение человеческого организма, а, значит, найти причину его слабостей и болезней. Нил Шубин, профессор анатомии, известный палеонтолог и один из первооткрывателей легендарного тиктаалика (промежуточного звена между рыбами и наземными животными), предлагает читателю совершить увлекательное путешествие к истокам эволюции и посмотреть, как на протяжении трех с половиной миллиардов лет формировалось и совершенствовалось наше тело.

Нил Шубин

Внутренняя рыба. История человеческого тела с древнейших времен до наших дней

Посвящается Мишель

Neil Shubin

YOUR INNER FISH

A Journey into the 3.5-Billion-Year History of the Human Body

© 2008 by Neil Shubin. All rights reserved

Перевод с английского Петра Петрова

Издание осуществлено при поддержке Фонда некоммерческих программ Дмитрия Зимина «Династия»

Художественное оформление и макет Андрея Бондаренко

Династия

Фонд некоммерческих программ “Династия”

основан в 2002 году Дмитрием Борисовичем Зиминым, почетным президентом компании “Вымпелком”. Приоритетные направления деятельности Фонда –

развитие фундаментальной науки и образования в России, популяризация науки и просвещения.

В рамках программы по популяризации науки Фондом запущено несколько проектов.

В их числе – сайт elementy.ru, ставший одним из ведущих в русскоязычном интернете тематических ресурсов, а также проект “Библиотека “Династии” – издание современных научно-популярных книг, тщательно отобранных экспертами-учеными. Книга, которую вы держите в руках, выпущена в рамках этого проекта.

Более подробную информацию о Фонде “Династия” вы найдете по адресу

www.dynastyfdn.ru (http://www.dynastyfdn.ru/).

Предисловие

Эта книга появилась в результате одного необычного для меня обстоятельства. Из Медицинской школы Чикагского университета ушли некоторые преподаватели, из-за чего мне пришлось вести у студентов-медиков анатомию человека. На занятиях по этому предмету нервные первокурсники вскрывают трупы, параллельно заучивая названия и строение большинства органов, естественных отверстий, нервов и сосудов человеческого тела. Этот курс вводит студентов в мир медицины, дает им опыт, без которого нельзя стать врачом. На первый взгляд, сложно представить худшего кандидата на должность наставника нового поколения врачей: по специальности я палеонтолог и занимался в основном изучением ископаемых рыб.

Но, оказывается, быть палеонтологом очень полезно для преподавания анатомии человека. Почему? Лучшая карта человеческого тела – в телах других животных. Простейший способ дать студентам представление о нервах в голове человека состоит в том, чтобы показать им, как устроены нервы акул. Легчайшая

дорога к познанию наших конечностей – изучение рыб. Рептилии очень помогают разобраться в строении мозга. И все это потому, что тела этих существ часто представляют собой упрощенные версии наших собственных тел.

В ходе летней экспедиции в Арктику на втором году моего преподавания этого курса нам с коллегами посчастливилось найти ископаемую рыбу, открытие которой пролило немало света на выход позвоночных на сушу, совершившийся более 375 миллионов лет назад. Эта находка вместе с моим вторжением в область человеческой анатомии пробудила во мне желание разобраться в глубинной связи, существующей между двумя этими объектами. Так и возникла эта книга.

Глава 1

В поисках нашей внутренней рыбы

С тех пор как я стал взрослым, мое лето обычно проходит среди снега и слякоти далеко к северу от полярного круга за раскалыванием камней. Большую часть времени я мерзну, натираю мозоли и не нахожу ровным счетом ничего. Но если немного повезет, мне попадаются кости древних рыб. Так себе сокровище для большинства людей, для меня они – дороже золота.

Кости древних рыб помогают понять, кто мы и как мы стали собой. Мы можем узнать что-то новое о нашем собственном теле из самых странных на первый взгляд источников – начиная от ископаемых червей и рыб, которых можно обнаружить в камнях по всему свету, и мира ДНК и заканчивая в сущности каждым животным, населяющим сегодня нашу планету. Но сначала необходимо объяснить, почему я так уверен, будто скелетные остатки былых времен – а именно остатки рыб – дают нам ключи к познанию основ строения нашего тела.

Как можем мы представить события, происходившие миллионы, а во многих случаях и миллиарды лет назад? К сожалению, нельзя расспросить очевидцев – никого из нас не было тогда на свете. Большую часть времени не было не только ни одного говорящего существа, но и ни одного существа, которое имело бы рот и даже голову. Хуже того, животные, которые жили в те времена, умерли и

погребены так давно, что от тел лишь немногих из них вообще хоть что-то осталось. Если задуматься о том, что более 99 % всех когда-либо живших видов к настоящему времени вымерло, что лишь очень малая их доля сохранилась в ископаемом виде и что еще меньшую долю от этой доли удается найти, то может показаться, что любые попытки познать наше прошлое изначально обречены на провал.

Добываем ископаемые – видим самих себя

Впервые я увидел одну из тех рыб, что сохранились внутри нас, снежным июльским днем, исследуя породы возрастом 375 миллионов лет на острове Элсмир, около 80° северной широты. Вместе с коллегами я добрался до этого далекого безлюдного острова, чтобы обнаружить одну из ключевых стадий перехода от рыб к наземным животным. Из скалы торчала рыбья голова – и не просто голова, а удивительно плоская. Едва увидев ее, мы поняли, что нашли что-то важное. Если внутри каменного склона нам удастся отыскать другие части скелета этой рыбы, они откроют нам тайны ранних стадий развития нашего черепа, нашей шеи и даже наших конечностей.

Что эта плоская голова сообщала нам о выходе рыб на сушу? Или, если говорить о моих собственных безопасности и комфорте, почему я был в Арктике, а не на Гавайях? Ответить на эти вопросы можно лишь рассказав о том, как мы находим древние ископаемые остатки и как используем их, чтобы разобраться в нашем прошлом.

Ископаемые остатки – один из важнейших источников данных, позволяющих нам познать самих себя. Другие источники подобной информации – гены и зародыши, о них речь пойдет позже. Но немногие знают, что поиск ископаемых – довольно точная наука и мы нередко можем предсказать, что и где обнаружим. В городе мы работаем над тем, чтобы в поле у нас были максимальные шансы преуспеть. А затем полагаемся на удачу.

Это парадоксальное соотношение расчета и случая лучше всех охарактеризовал Дуайт Эйзенхауэр в известном изречении: “Готовясь к сражениям, я всегда убеждался, что планы бесполезны, но планировать необходимо”. Эти слова как нельзя лучше выражают суть полевой работы палеонтологов. Мы делаем

всевозможные расчеты, как добраться до многообещающих местонахождений ископаемых, но, когда мы прибываем на место, оказывается, что все наши планы полевых исследований можно спокойно выбросить на свалку. Приземленные факты меняют самые блестящие расчеты.

Но все же мы можем задумывать экспедиции с целью ответить на конкретные научные вопросы. Исходя из нескольких простых идей, о которых я расскажу ниже, мы можем предсказывать, где можно обнаружить важные ископаемые остатки. Конечно, у нас никогда нет стопроцентной гарантии успеха, но, если повезет, можно найти что-то по-настоящему интересное. Вся моя научная карьера была построена именно на этом: я искал древних млекопитающих, чтобы узнать о происхождении млекопитающих, древнейших лягушек, чтобы узнать о происхождении лягушек, и некоторых из древнейших четвероногих, чтобы узнать о выходе рыб на сушу.

В наши дни обнаруживать новые местонахождения стало значительно проще, чем прежде. Благодаря геологическим исследованиям, проводимым местными властями и нефтегазовыми компаниями, нам стало больше известно о геологии многих районов. Интернет дает возможность оперативно работать с картами, данными аэрофотосъемки и материалами различных исследований. Где бы вы ни жили, сегодня я, не вставая из-за ноутбука, могу определить, есть ли перспективные места для поиска ископаемых у вас во дворе. Наконец, компьютерные методы построения изображений вместе с радиографическими устройствами позволяют нам видеть некоторые породы насквозь и изучать заключенные в них кости.

Но, несмотря на все эти достижения, охота за ценными ископаемыми во многом осталась такой же, какой она была лет сто назад. Палеонтологам по-прежнему приходится изучать горные породы, в буквальном смысле ползая по ним, и нередко вручную извлекать скрытые в них ископаемые остатки. Разыскивая и добывая такие остатки, нам приходится на месте принимать так много решений, что эти процессы по-прежнему сложно автоматизировать. Кроме того, смотреть в поисках ископаемых на экран монитора – занятие далеко не такое увлекательное, как своими руками добывать их в природе.

Занятие это хитрое, потому что местонахождения ископаемых довольно редки. Чтобы шансы на успех были максимальны, нам нужно, чтобы сошлись три фактора. Мы ищем такие места, где залегают породы определенного возраста и определенного типа, которые могут содержать ископаемые остатки древних

животных, и где эти породы выходят на поверхность земли. Есть и четвертый фактор – везение. Это я покажу на примере.

Этот пример – один из важнейших переходных этапов в истории жизни на Земле – выхода позвоночных на сушу. Четыре миллиарда лет назад все живое обитало только в воде. Затем, около 400 миллионов лет назад, живые существа начали осваивать сушу. Для жизни в этих двух средах требуется разное. Для дыхания в воде требуются совсем не такие органы, как для дыхания на суше. То же относится к выделению, питанию и передвижению. Чтобы выйти на сушу, живым организмам понадобилось радикально перестроить свое тело. Граница между водной и наземной средой кажется на первый взгляд почти непреодолимой. Но научные факты позволяют увидеть эту проблему в другом свете. То, что могло показаться невозможным, случилось на самом деле.

В наших поисках горных пород определенной эпохи нам помогает одно примечательное обстоятельство. Ископаемые остатки в породах Земли распределены далеко не случайным образом. Местоположение содержащих такие остатки пород и характер этих остатков – все это подчиняется строгим правилам, и мы можем использовать эти правила, планируя свои экспедиции. Менявшийся за миллиарды лет облик Земли оставил следы в виде последовательности из множества различных слоев горных пород. Легко проверяемое рабочее предположение, из которого мы исходим, состоит в том, что слои, расположенные ближе к поверхности земли, моложе слоев, залегающих глубже. Обычно так и бывает в районах, где слои залегают ровно, образуя что-то вроде слоеного торта (например, Большой каньон). Но движения земной коры приводят к появлению разломов, которые меняют взаимное расположение слоев, иногда переворачивая их так, что более древние оказываются над более молодыми. К счастью, если разобраться, как именно прошел тот или иной разлом, нередко первоначальную последовательность слоев можно восстановить.

Заключенные в этих породах ископаемые также соответствуют определенной последовательности. В нижних слоях захоронены совсем не те виды ископаемых, что в верхних слоях. Если бы мы могли добыть единую колонку из горных пород, отложенных за все этапы истории Земли, перед нами предстало бы необычайное разнообразие ископаемых остатков. В самых нижних слоях видимых свидетельств существования жизни было бы немного. В более высоких наблюдались бы отпечатки самых разных животных с мягким телом – вроде медуз. Еще выше залегали бы слои с остатками скелетных организмов, у

которых были различные придатки и другие органы – например глаза. Над ними лежали бы слои с первыми позвоночными животными. И так далее. Слои с древнейшими людьми залегали бы намного выше. Разумеется, единой колонки из пород, отложенных за все этапы истории Земли, не существует. В каждой точке земной коры залегают породы, отражающие лишь некоторые, сравнительно небольшие отрезки времени. Чтобы получить общую картину, мы составляем эти отрезки вместе, сравнивая и сами породы, и захороненные в них ископаемые остатки, как бы собирая гигантский пазл.

Неудивительно, что в колонке горных пород содержится последовательность ископаемых организмов. Менее очевидно, что на основании сравнения ископаемых видов с современными мы можем довольно точно предугадывать, как будут выглядеть организмы, которые мы обнаружим в том или ином слое. Накопленные знания дают нам возможность заранее предвидеть, какие ископаемые будут обнаружены в определенном слое древних пород. Более того, последовательность ископаемых можно во многом предсказать, основываясь лишь на сравнении нас самих с животными из какого-нибудь зоопарка или аквариума.

Как прогулка по зоопарку может помочь нам узнать, в каких породах искать особо ценные ископаемые остатки? В зоопарке есть много живых существ, по-разному отличающихся друг от друга. Но отвлечемся от их различий: чтобы справиться с поставленной задачей, нам нужно сосредоточиться на их сходстве, чтобы выявить признаки, общие для многих видов, и выделить группы животных со сходными признаками. Всех живых существ можно распределить по таким группам, заключенным одна в другой, как матрешки, так что меньшие группы находятся в составе больших. Сделав это, мы увидим одно фундаментальное свойство живой природы.

У всех животных в зоопарке или аквариуме есть голова и пара глаз. Назовем таких животных “всеми”. В пределах этой группы будет подгруппа животных с головой и парой глаз, у которых есть четыре конечности. Назовем таких животных “всеми с четырьмя конечностями”. Подподгруппа этих животных, наделенных головой, глазами и четырьмя конечностями, будет включать организмы с огромным мозгом, ходящие на двух ногах и разговаривающие. Эта подподгруппа – мы, люди. Таким способом мы могли бы, конечно, выделить и намного больше групп, но даже эта трехуровневая схема имеет некоторую предсказательную силу.

Ископаемые остатки, заключенные в горных породах, обычно соответствуют именно такой последовательности, и мы можем с ее помощью планировать новые палеонтологические экспедиции. Воспользуемся приведенным выше примером. Первые представители группы “всех”, существа с головой и парой глаз, встречаются в ископаемом виде в более глубоких слоях, чем первые из “всех с четырьмя конечностями”. Говоря точнее, первые рыбы (полноценные представители “всех”) встречаются раньше, чем первые земноводные (представители “всех с четырьмя конечностями”). Очевидно, эту схему можно усовершенствовать, рассматривая многих других животных и признаки, по которым их можно объединить в группы, а также оценивая абсолютный возраст горных пород.

Существа, которых мы видим в зоопарке, отражают последовательность залегания ископаемых остатков в горных породах нашей планеты.

Именно это мы и делаем в своих лабораториях, используя тысячи и тысячи признаков и видов животных. Мы обращаем внимание на мельчайшие различия анатомических черт, а нередко также и на крупные куски ДНК. Данных накоплено так много, что нам часто необходимы мощные компьютеры, чтобы их обрабатывать и получать длинные последовательности групп, заключенных одна в другой. Этот подход лежит в основе всей биологии, потому что он позволяет нам выдвигать гипотезы о том, в каком родстве живые существа состоят друг с другом.

Ископаемые остатки, накопленные за сотни лет сбора, не только помогают нам группировать живые организмы по степени родства. Благодаря коллекциям этих остатков у нас в распоряжении имеется обширная библиотека, или каталог, разных периодов истории Земли и жизни на ней. Теперь мы можем приблизительно оценить, когда происходили важнейшие изменения. Вы интересуетесь происхождением млекопитающих? Обратитесь к породам времени, называемого ранней мезозойской эрой. Геохимический анализ говорит нам, что этим породам где-то около 210 миллионов лет. Интересуетесь происхождением приматов? Обратитесь к меловому периоду, к породам, залегающим выше, возраст которых порядка 80 миллионов лет.

Порядок залегания ископаемых остатков в горных породах Земли дает нам богатый материал для изучения нашей связи со всей остальной жизнью. Если бы в породах, которым около 600 миллионов лет, мы нашли остатки древнейших медуз, залегающие по соседству со скелетом сурка, нам пришлось бы переписать наши учебники, потому что это означало бы, что первый сурок появился в палеонтологической летописи раньше древнейших известных млекопитающих, рептилий и рыб – даже раньше первых червей. Более того, этот древний сурок показал бы нам, что значительная часть того, что, как нам кажется, мы знаем об истории Земли и жизни на ней, не соответствует действительности. Однако, несмотря на то что люди уже больше 150 лет ищут ископаемые остатки древних организмов на всех материках и во всех доступных слоях горных пород, ничего подобного этому сурку никогда не находили.

Теперь вернемся к проблеме поиска родственников первых рыб, которые вышли на сушу. В нашей трехуровневой схеме эти существа должны находиться где-то между “всеми” и “всеми с четырьмя конечностями”. Соотнесем это с тем, что нам известно о горных породах, и придем к выводу, что геологические данные указывают нам на промежуток времени от 380 до 365 миллионов лет назад. Близкие этому промежутку более молодые породы, которым около 360 миллионов лет, содержат ископаемые остатки различных животных, в которых все мы узнали бы амфибий (земноводных) и рептилий (пресмыкающихся). Моя коллега Дженни Клэк из Кембриджского университета и некоторые другие палеонтологи нашли остатки амфибий в Гренландии в породах, которым около 365 миллионов лет. Их шея, органы слуха и четыре ноги делают их непохожими на рыб. Но в породах возрастом около 385 миллионов лет мы находим остатки настоящих рыб, которые и похожи на рыб. У них были плавники, голова конической формы и чешуя, а шеи не было. Учитывая эти обстоятельства, неудивительно, что мы обратили особое внимание на породы возрастом около 375 миллионов лет, чтобы найти переходные формы между рыбами и наземными позвоночными животными.

Итак, мы определились с промежутком времени, который хотим исследовать, а значит, и с теми слоями геологической колонки, в которых нужно искать. Теперь наша задача состоит в том, чтобы найти породы, сформировавшиеся при таких условиях, что в них могут залегать ископаемые остатки живых организмов. Вулканические породы нам в целом не подходят. Ни одна известная нам рыба жить в лаве не может. Даже если бы такая рыба существовала, остатки ее костей не выдержали бы страшного перегрева, необходимого для формирования базальтов, риолитов, гранитов и других магматических пород. Мы можем также отбросить метаморфические породы, такие как кристаллический сланец и

мрамор, потому что с начала своего образования они претерпели или перенагрев, или воздействие крайне высокого давления. Какие бы ископаемые остатки в них ни залегали, они давно пропали. Идеально для захоронения остатков живых организмов подходят осадочные породы: известняки, песчаники, алевролиты и глинистые сланцы. По сравнению с вулканическими и метаморфическими породами эти породы возникли в менее экстремальных условиях, в том числе на дне рек, озер и морей. В таких средах могут обитать животные, и, что не менее важно, в них происходят процессы осадконакопления, в ходе которых и образуются осадочные породы, где с большой вероятностью сохраняются ископаемые остатки. К примеру, в океане или в озере из толщи воды на дно постоянно оседают различные частицы. Со временем, по мере накопления этих частиц, их начинают сдавливать новые, более высокие слои. Постепенное сдавливание в сочетании с химическими процессами, происходящими внутри этих пород в течение долгого времени, дает скелетам, заключенным в таких породах, неплохие шансы сохраниться в виде ископаемых остатков (фоссилизироваться). Сходные процессы происходят в реках и в их долинах. Общее правило здесь таково: чем медленнее река или ручей, тем лучше сохраняются ископаемые.

У каждого лежащего на земле камня есть своя история – история о мире в те времена, когда сформировалась порода, из которой этот камень состоит. Внутри камня хранятся сведения о былом климате и об условиях, часто сильно отличающихся от тех, в которых он находится сегодня. Пропасть между теми и другими может быть почти немыслимо глубока. Возьмем такой исключительный пример, как гора Эверест, у вершины которой, на высоте почти девяти километров, залегают породы, когда-то находившиеся на дне древнего моря. На Северной стене, практически в пределах прямой видимости со знаменитой Ступени Хиллари, можно найти ископаемые морские раковины. Подобный контраст между настоящим и прошлым есть и в Арктике, где мы работаем. Зимой морозы здесь нередко достигают минус сорока градусов по Цельсию. Однако в некоторых из горных пород в этих краях заключены остатки организмов, обитавших в древней тропической дельте, чем-то похожей на дельту Амазонки. Растения и рыбы, остатки которых мы здесь находим, могли жить только в теплом и влажном климате. Находки на огромных высотах и на Крайнем Севере ископаемых видов, приспособленных к жизни в тепле, свидетельствуют о том, как сильно может меняться наша планета: на ней вырастают и разрушаются горы, климат становится то теплее, то прохладнее, а континенты непрестанно движутся. Полученные на сегодня представления о том, за какое огромное время происходили эти необычайные изменения, позволяют нам использовать такого рода сведения, организуя новые экспедиции

для охоты за ископаемыми.

Итак, если мы хотим разобраться в происхождении наземных позвоночных животных, нам надо обратить особое внимание на породы, возраст которых составляет примерно от 375 до 380 миллионов лет и которые сформировались в океанах, озерах или реках. Исключим из рассмотрения вулканические и метаморфические породы, и круг мест, где мы можем надеяться найти то, что ищем, еще больше сузится.

Мы проделали пока лишь часть работы, необходимой для планирования новой экспедиции. Нам не подходят осадочные породы указанного возраста, залегающие глубоко под землей или где-нибудь под полями, торговыми комплексами или городами. Здесь нам пришлось бы копать вслепую. Нетрудно представить, насколько мала вероятность успеха, если мы просто примемся бурить землю в первом попавшемся месте в расчете обнаружить ископаемые. Это примерно как стрелять по мишени в полной темноте.

Лучше всего искать ископаемые в таких местах, где можно многие километры идти по обнаженным горным породам в поисках участков, и где из-за выветривания на поверхности оказались заключенные в геологических слоях кости. Ископаемые остатки костей нередко тверже, чем окружающая их порода, поэтому их разрушение под действием эрозии идет несколько медленнее и на поверхности породы проступают выпуклые очертания этих костей. Идя по обнаженной породе, мы можем найти на ее поверхности следы костей и начать раскопки в этом месте.

Вот мы и получили рецепт новой экспедиции за ископаемыми: нужно найти породы определенного возраста, определенного типа (осадочные) и залегающие открыто, и можно браться за дело. Для охоты за ископаемыми идеальны районы, где мало почвы, растительности и следов деятельности человека. Принимая все это во внимание, разве удивительно, что значительная часть открытий совершается в пустынях? В пустыне Гоби. В пустыне Сахара. В штате Юта. В полярных пустынях – например в Гренландии.

Все это звучит вполне логично, но не будем забывать и еще об одном факторе – везении. По правде говоря, именно везение помогло нашей группе выйти на след той самой рыбы. Наши первые важные открытия были сделаны не в пустыне, а у обочины дороги в Пенсильвании, где породы отнюдь не залегают открыто. И вдобавок нам пришлось искать там лишь потому, что у нас было

довольно мало денег.

Чтобы отправиться в Гренландию или в Сахару, нужно довольно много денег и времени. А на исследования где-нибудь неподалеку, напротив, не требуется больших научных грантов, только деньги на бензин и платные автострады. Для аспиранта или молодого преподавателя колледжа этот фактор может играть ключевую роль. Когда я устроился на свою первую работу в Филадельфии, меня особенно интересовала группа горных пород, известная под собирательным названием “пенсильванская формация Кэтскилл”. Эту формацию интенсивно изучают уже более 150 лет. Ее возраст хорошо известен, он охватывает поздний девонский период. Кроме того, эти породы прекрасно подходят для того, чтобы в них сохранились древнейшие наземные позвоночные и их ближайшие родственники. Чтобы понять почему, надо представить себе, как выглядела Пенсильвания в девонский период. Давайте выбросим из головы образы Филадельфии, Питтсбурга и Гаррисберга и представим что-то вроде дельты Амазонки. В восточной части штата располагалось нагорье. Несколько больших рек стекали с этого нагорья на запад и впадали в обширное море, которое плескалось там, где сейчас стоит Питтсбург.

Для поиска ископаемых лучше не придумаешь, если не считать того, что сегодня Пенсильвания вся покрыта населенными пунктами, лесами и полями. Обнажения горных пород встречаются в основном лишь там, где работники Пенсильванского департамента транспорта решили построить большие дороги. А для строительства дорог они используют взрывы, и эти взрывы обнажают горные породы. Обычно это не самые подходящие обнажения, но за неимением лучших приходится пользоваться ими. Занимаясь недорогой наукой, получаешь то, что можешь себе позволить.

По обочинам дорог в Пенсильвании мы искали то, что осталось от древней дельты реки, во многом похожей на сегодняшнюю Амазонку. Штат Пенсильвания (внизу) и схема его топографии в девоне (вверху).

Сопутствовало нам и везение другого рода: в 1993 году ко мне приехал Тед Дешлер, который стал заниматься палеонтологией под моим руководством. Это

сотрудничество изменило жизнь каждого из нас. У нас совсем разные характеры, и поэтому мы прекрасно дополняем друг друга: мне никогда не сидится на месте, и я все время думаю о том, где мы будем искать дальше, а Тед терпелив и знает, когда нужно остановиться и копать, чтобы не пропустить золотую жилу. Мы с Тедом начали исследовать девонские породы в Пенсильвании в надежде найти новые материалы о происхождении конечностей наземных позвоночных. Начали мы с того, что отправлялись на машине чуть ли не во всякое место на востоке штата, где проводилась выемка грунта под дорогу. К немалому нашему удивлению, вскоре после того, как мы начали свои исследования, Тед нашел великолепную ископаемую лопатку. Мы назвали ее обладателя Hynerpeton (хайнерпетон), что переводится с греческого как “маленькое ползающее на брюхе животное из Хайнера”. Хайнер (Hyner) – это название ближайшего городка. Hynerpeton имел очень мощную лопатку, из чего можно заключить, что у этого существа, скорее всего, были сильные конечности. К сожалению, нам так и не удалось найти полный скелет этого животного. Количество обнажений, которые нам удалось исследовать, было ограничено. Чем ограничено? Вы угадали: растительностью, домами и торговыми комплексами.

После открытия хайнерпетона и некоторых других ископаемых из этих пород нам с Тедом не терпелось взяться за породы, которые были бы лучше обнажены. Если бы мы построили всю свою научную деятельность на добывании жалких фрагментов, мы смогли бы работать над очень ограниченным набором проблем. Поэтому мы решили действовать “по учебнику” – искать хорошо обнаженные породы нужного нам возраста и типа в пустынях. И надо сказать, мы никогда бы не сделали важнейшего открытия в своей жизни, если бы не учебник по основам геологии.

Поначалу мы собирались поехать в экспедицию на Аляску или в Юкон, во многом потому, что в интересующей нас области там уже были сделаны открытия другими группами палеонтологов. В итоге у нас разгорелся спор о некоторых эзотерических геологических знаниях, и в пылу спора один из нас взял со стола тот счастливый учебник геологии. Пролистывая его, чтобы узнать, кто из нас прав, мы наткнулись на одну карту – и прямо остолбенели. На ней было нанесено все, что мы искали.

Мы тут же перестали спорить и стали заново планировать свою экспедицию.

Исходя из известных на тот момент находок, сделанных в немного менее древних породах, мы считали, что нашу охоту лучше всего начать в отложениях

древних рек. На карте в учебнике были показаны три области залегания девонских пресноводных отложений, каждое из которых соответствовало системе речных дельт. Первая область – восточное побережье Гренландии. Здесь Дженни Клэк нашла свое ископаемое – очень древнее существо с четырьмя конечностями, одно из древнейших известных наземных позвоночных (или тетрапод, то есть четвероногих). Вторая – восточное побережье Северной Америки, где мы уже работали и нашли лопатку хайнерпетона. Но была еще и третья область, обширная территория, протянувшаяся с востока на запад по арктическим островам Канады. В Арктике нет деревьев, мусора и городов. Это дает хорошие шансы на то, что породы нужного нам возраста будут обнажены на большой площади.

Обнажения в канадской Арктике были уже хорошо известны, особенно канадским геологам и палеоботаникам, которые к тому же закартировали эти обнажения. Более того, Эштон Эмбри, руководитель нескольких групп, выполнивших значительную часть этой работы, писал, что по многим геологическим характеристикам канадские девонские породы ничем не отличаются от пород, залегающих в Пенсильвании. Мы с Тедом готовы были собирать рюкзаки в ту же минуту, как прочитали эту фразу. Уроки, выученные на дорогах Пенсильвании, вполне могли пригодиться нам на Крайнем Севере Канады.

Примечательно, что канадские девонские породы даже старше, чем породы Гренландии и Пенсильвании. Так что эта область подходила нам по всем трем критериям: возраст пород, их тип и их обнаженность. А еще, что было и вовсе замечательно, эта территория не была исследована палеонтологами-“позвоночниками” (специалистами по позвоночным животным), а потому и не разведана на предмет ископаемых.

Наши новые задачи сильно отличались от тех, что стояли перед нами в Пенсильвании. Работая у автострад в Пенсильвании, мы рисковали погибнуть под колесами грузовиков, которые проносились мимо, пока мы искали своих ископаемых. В Арктике мы рисковали быть съеденными белыми медведями, израсходовать запасы пищи или оказаться отрезанными от людей из-за плохой погоды. Там у нас больше не будет возможности набрать с собой бутербродов и ехать на машине за ископаемыми. Теперь нам придется тратить не меньше восьми дней на планирование каждого дня работы в поле, потому что до нужных нам пород теперь можно добраться только по воздуху, а ближайшая база снабжения находится в 400 километрах. Мы можем привезти с собой лишь

необходимое количество еды и оборудования плюс небольшой неприкосновенный запас. И, что еще более важно, строгие ограничения на вес самолета позволят нам забрать с собой лишь малую долю обнаруженных на месте ископаемых. Прибавьте к этим ограничениям тот краткий промежуток времени, в течение которого мы могли нормально работать каждый год в условиях Арктики, и вы убедитесь, что нам предстояли совершенно новые и весьма обескураживающие трудности.

Карта, с которой все и началось. На этой карте Северной Америки показано как раз то, что мы искали. Различной штриховкой обозначены породы девонского периода, как морские, так и пресноводные.

Стрелки указывают три области, которые когда-то были речными дельтами. Воспроизведено с изменениями по рис. 13.1 из книги: R.H. Dott and R.L. Batten, Evolution of the Earth (New York: McGraw-Hill, 1988).

Публикуется с разрешения издательства McGraw-Hill.

Здесь в дело вступил мой бывший научный руководитель из Гарварда, доктор Фэриш Дженкинс-младший. Он много лет возглавлял экспедиции в Гренландию и обладал опытом, необходимым для осуществления нашего рискованного предприятия. И вот вся наша команда в сборе. Представители трех академических поколений – Тед, мой бывший студент, Фэриш, мой бывший руководитель, и я – собирались отправиться в Арктику, чтобы попытаться найти ископаемые свидетельства перехода от рыб к наземным животным.

Практического руководства по занятию палеонтологией в Арктике не существует. Снаряжаясь в экспедицию, мы полагались на советы друзей и коллег. Мы также читали книги, которые лишь убеждали нас в том, что решительно ничто не поможет нам подготовиться к непосредственному опыту такой работы. Никогда подобные вещи не ощущаются столь же остро, как когда вас впервые высаживают с вертолета в каком-нибудь Богом забытом уголке Арктики. Первая мысль, которая тут же приходит на ум, – белые медведи. Несчетное число раз я обозревал окрестности в поисках движущихся белых

пятнышек. Если все время об этом думать, можно что-нибудь и увидеть. В первую неделю нашей работы в Арктике один из членов нашей группы заметил одно такое пятнышко. По виду это был белый медведь на расстоянии где-то в полкилометра. Мы, как герои полицейской комедии, в суматохе стали хвататься за оружие, сигнальные ракеты и свистки, пока не разглядели, что наш медведь был на самом деле белым полярным зайцем метрах в шестидесяти от нас. В Арктике нет домов и деревьев, чтобы правильно оценить расстояние, и зрение легко нас обманывает.

Арктика – большой и пустынный край. Обнажения нужных нам пород простираются здесь на расстояние около полутора тысяч километров. А ископаемые животные, которых мы искали, были длиной порядка метра с небольшим. Нам надо было как-то найти на этих просторах небольшой участок породы, содержащий нужное нам ископаемое. Среди рецензентов заявок на гранты попадаются люди совершенно беспощадные. Они всегда указывают в своих рецензиях на данное затруднение. Лучше всех об этом написал рецензент одной из первых заявок Фэриша на исследования в Арктике. Как было сказано в его рецензии (должен заметить, не особенно доброжелательной), шансы найти в Арктике новых ископаемых “еще меньше, чем найти пресловутую иголку в стоге сена”.

Нам понадобилось четыре экспедиции на остров Элсмир и более шести лет исследований, чтобы найти нашу иголку. Это к вопросу о везении.

Наш лагерь (вверху) кажется крошечным на фоне окружающего ландшафта. Мой летний дом (внизу) – небольшая палатка, обычно обложенная камнями, чтобы защитить ее от ветров, которые могут дуть здесь со скоростью больше двадцати метров в секунду. Фото автора.

Стараясь учиться на своих ошибках, мы нашли то, что искали, после многих попыток и неудач. Вначале, в полевой сезон 1999 года, мы добывали ископаемых

далеко на западе канадской Арктики, на острове Мелвилл. Тогда мы еще не знали этого, но нас высадили на дне древнего океана. В породах было полно ископаемых, и мы нашли в ней остатки множества разных рыб. Беда была в том, что все они были, по-видимому, глубоководные, совсем не такие, как нужные нам обитатели речных или озерных мелководий, от которых произошли наземные позвоночные. Пользуясь данными геологического анализа, проведенного Эштоном Эмбри, в 2000 году мы решили перенести нашу экспедицию к востоку, на остров Элсмир, потому что там мы ожидали найти породы, образовавшиеся из отложений древних рек. Вскоре мы начали находить там сохранившиеся в ископаемом виде кусочки рыбьих костей размером с четвертак[1 - Диаметр монеты в четверть доллара – около 2,5 см. – Примеч. перев.].

Настоящий прорыв произошел под конец полевого сезона 2000 года. Было это прямо перед ужином, где-то за неделю до того, как нас должны были забирать для возвращения домой. Отряд уже вернулся в лагерь, и мы занимались обычными вечерними делами: разбирали собранные за день материалы, делали полевые заметки и уже начинали организовывать ужин. Джейсон Даунс, тогда студент колледжа, увлеченный палеонтологией, в лагерь вовремя не вернулся. Это был повод для тревоги, потому что обычно мы не ходим поодиночке, а если и расходимся, то четко договариваемся о том, когда и где каждый снова даст о себе знать. Нельзя полагаться на случай в местах, где живут белые медведи и неожиданно может накатить буря. Помнится, я сидел в главной палатке вместе со всеми, и с каждой минутой наша тревога за Джейсона нарастала. Когда мы уже начали планировать поисковые работы, я услышал звук расстегиваемой молнии на входе в палатку. Первым, что я увидел, была голова Джейсона. Когда он весь забрался внутрь, мы сразу поняли, что дело было не в белых медведях: ружье по-прежнему висело у него за плечом. Нам стало ясно, почему он задержался: трясущимися руками он стал доставать горсть за горстью ископаемые кости, которыми были набиты все карманы его одежды – куртки, брюк, рубашки, – а также его маленький рюкзак. Думаю, он напихал бы их и в носки, и в ботинки, если бы смог в таком виде добраться до лагеря. Все эти небольшие кости были собраны им на поверхности небольшого участка породы размером с место для парковки малолитражки, на расстоянии полутора километров от лагеря. Ужин мог подождать.

В Арктике летом круглые сутки светло, поэтому нам нечего было беспокоиться о наступлении темноты. Мы прихватили с собой несколько плиток шоколада и отправились на место, которое нашел Джейсон. Располагалось оно на склоне холма между двумя прекрасными речными долинами и, как и говорил Джейсон,

было как ковром покрыто ископаемыми рыбьими костями. Мы провели несколько часов за сбором фрагментов этих костей, фотографированием и обсуждением дальнейших планов. Это место обладало всеми нужными нам свойствами. На следующий день мы вернулись туда с новой задачей – найти тот конкретный слой породы, в котором залегали эти кости.

Вот где мы работаем: южная часть острова Элсмир, территория Нунавут (Канада), полторы тысячи километров к югу от северного полюса.

Самое сложное заключалось в том, чтобы установить источник собранных Джейсоном обломков. Только так мы могли надеяться найти целый скелет. Но с условиями Крайнего Севера просто беда: каждую зиму температуры достигают минус сорока по Цельсию. Летом, когда солнце вовсе не опускается за горизонт, температура поднимается почти до плюс 10. Такие циклы замерзания и оттаивания приводят к тому, что обнаженные горные породы и заключенные в них ископаемые остатки растрескиваются. Каждую зиму они охлаждаются и сжимаются, каждое лето – нагреваются и расширяются. За тысячи лет таких расширений и сжатий ископаемые в породе у поверхности распадаются на фрагменты. Столкнувшись с валяющимися в беспорядке на склоне холма обломками, мы не могли с ходу сказать, какой именно слой послужил их источником. Несколько дней подряд мы пытались отследить путь этих обломков, копали пробные шурфы, пользовались нашими геологическими молотками, как лозоходцы лозой, чтобы разобраться в том, из какой же части склона происходили эти кости. Через четыре дня мы наконец нашли этот слой и в итоге обнаружили множество скелетов ископаемых рыб, нередко лежащих один на другом. Два следующих лета были во многом посвящены тому, чтобы извлечь эти скелеты из породы.

И вновь неудача: все обнаруженные нами рыбы относились к хорошо известным видам, собранным в местах, где залегают близкие по возрасту породы, в Восточной Европе. А кроме того, эти рыбы были довольно далекими родственниками наземных позвоночных. В 2004 году мы решили сделать еще одну попытку. Положение у нас было – или пан, или пропал. Расходы на наши арктические изыскания были непомерно высоки, и если бы нам не удалось найти ничего примечательного, от дальнейших поисков пришлось бы отказаться.

Все изменилось за четыре дня в начале июля 2004 года. Я переворачивал камни на дне карьера, где приходилось чаще колоть лед, чем породу. В одном месте, проломив лед, я увидел картину, которой никогда не забуду: участок, покрытый чешуей, не похожей ни на что из того, что мы до сих пор находили в этом карьере. По соседству с этим участком я заметил выпуклость, тоже покрытую льдом. Она напоминала челюсти. Но эти челюсти не были похожи на челюсти ни одной из виденных мной рыб. Похоже, что голова, которая несла эти челюсти, была плоской.

На следующий день мой коллега Стив Гейтси переворачивал камни в верхней части того же карьера. Из одного извлеченного им камня на него уставилось рыло ископаемой рыбы. Как и у рыбы, обнаруженной мною на дне карьера, у нее была плоская голова. Такого мы раньше не находили, и это было важно. Но еще важнее было то, что находка Стива, в отличие от моей, была многообещающей. Перед нами был передний конец тела, а значит, если повезет, остальной скелет может быть заключен в глубине каменного склона. Остаток лета Стив провел за постепенным извлечением фрагментов породы, чтобы мы могли привезти ископаемый скелет в лабораторию и очистить его. Благодаря мастерству, с которым Стив выполнил эту работу, был добыт один из лучших известных образцов ископаемых, отражающих выход позвоночных на сушу.

Процесс поиска ископаемых начинается с постепенного извлечения фрагментов породы. На этих фотографиях показаны этапы извлечения ископаемых остатков и их транспортировки с поля в лабораторию, где образец тщательно очищается от лишней породы, и перед нами предстает скелет животного, ранее не известного науке. Слева вверху – фото автора, остальные любезно предоставил

Тед Дешлер (Академия естественных наук Филадельфии).

Образцы, которые мы привезли с собой в лабораторию, в целом выглядели как каменные глыбы, внутри которых были заключены ископаемые остатки. В течение двух месяцев препараторы постепенно, по кусочкам удаляли породу, часто вручную, используя зубоврачебное оборудование и зубочистки. Каждый день открывал нам новые подробности строения этого ископаемого. Едва ли не всякий раз, когда обнажался новый большой участок его скелета, мы узнавали что-то новое о происхождении наземных позвоночных.

Ископаемое, которое постепенно открывалось нашим взорам осенью 2004 года, представляло собой прекрасную промежуточную форму между рыбами и наземными позвоночными. Между этими группами животных есть немалая разница. Голова у рыб коническая, в то время как у древнейших наземных позвоночных головы были плоские, с глазами наверху, как у крокодилов. У рыб нет шеи, их лопатки прикреплены к черепу рядом костных пластинок. У древнейших наземных позвоночных, как и у всех их потомков, шея имеется, то есть голова может двигаться независимо от лопаток и плечевого пояса конечностей.

Есть и другие существенные отличия. У рыб все тело покрыто чешуей, а у наземных позвоночных нет. Кроме того, что немаловажно, у рыб есть плавники, в то время как у наземных позвоночных имеются две пары конечностей, оканчивающихся и запястьем, и лодыжкой (на конечностях передней и задней пары соответственно), и пальцами. Список отличий рыб от наземных позвоночных можно продолжать и дальше.

Но открытое нами существо стирало грань между этими двумя группами животных. Как рыба, оно было покрыто чешуей и имело перепончатые плавники. Но голова у него была плоской, как у наземных позвоночных, а еще у него была шея. Внутри передней пары его плавников находились кости, соответствующие плечевой, локтевой и лучевой и даже некоторым костям запястья. Эти кости были к тому же соединены суставами: перед нами была рыба с плечевым, локтевым и лучезапястным суставами!

Почти все черты, общие для этого существа и для наземных позвоночных, весьма примитивны. К примеру, его плечевая кость по форме и строению

отчасти похожа на рыбью, а отчасти – на плечевую кость амфибий. То же относится к строению черепа и лопаток.

Нам потребовалось шесть лет, чтобы найти это ископаемое, но эта находка подтвердила наше палеонтологическое предсказание: открытая нами рыба не только занимала промежуточное положение между двумя разными группами животных, она также была обнаружена в отложениях определенного периода истории Земли, сформировавшихся в определенной среде. Как мы и ожидали, мы нашли это ископаемое в породах возрастом около 375 миллионов лет, образованных отложениями древней реки.

Рисунок говорит сам за себя. Тиктаалик – переходное звено между рыбами и примитивными наземными животными.

Как первооткрыватели этого существа Тед, Фэриш и я имели почетное право дать ему формальное научное название. Нам хотелось, чтобы название отражало происхождение этой рыбы с арктической территории Нунавут, отдавая наш долг эскимосскому народу за право работать на его земле. Мы связались с советом старейшин Нунавута, официально называющимся Inuit Qaujimajatuqangit Katimajiit, с просьбой предложить название этому существу на эскимосском языке инуктитут. Конечно, меня беспокоило, что совет с таким названием предложит нам слово, которое мы будем не в состоянии произнести. Я послал им изображение этого ископаемого, и старейшины предложили два варианта: Siksagiaq и Tiktaalik. Мы выбрали Tiktaalik – потому, что это слово сравнительно легко произнести человеку, не говорящему по-эскимосски, а еще из-за того, что на языке инуктитут оно означает “крупная пресноводная рыба”.

На следующий день после того, как в апреле 2006 года мы объявили о своем открытии, во многих газетах вышли статьи, посвященные тиктаалику, и даже в таких солидных изданиях, как New York Times, о нем писали с большими заголовками. Из-за всеобщего внимания к нашей находке мне довелось пережить самую странную неделю в моей обычно спокойной жизни. Но для меня самым ярким моментом всей этой шумихи стали не посвященные тиктаалику карикатуры, не редакционные статьи и не бурное обсуждение в блогах. Самое

лучшее впечатление было связано с детским садом моего сына.

Посреди поднятого газетами шума воспитательница моего сына попросила меня принести в детский сад это ископаемое и рассказать о нем. Я послушно принес на занятия группы Натаниэла слепок тиктаалика, мысленно готовясь к тому, какой хаос мне придется пережить. Но двадцать четырехлетних и пятилетних детей вели себя на удивление хорошо, пока я рассказывал им, как мы работали в Арктике, чтобы найти это ископаемое, и показывал его острые зубы. Затем я задал им вопрос: “Кто это, как вы думаете?” Поднялось немало рук. Первый ребенок ответил, что это крокодил или аллигатор. Когда я спросил почему, он сказал, что у этого животного плоская голова с глазами наверху, как у крокодила. Еще большие зубы. Другие дети стали выражать несогласие. Выбрав одного из тех, кто поднял руку, я услышал: “Не-не, это не крокодил, это рыба, ведь у нее чешуя и плавники!” А еще один ребенок крикнул: “А может, это и то и другое сразу?” Вот о чем нам говорит тиктаалик – и говорит так недвусмысленно, что это поняли даже ребята из детского сада.

Но тиктаалик может поведать нам и нечто более глубокое. Эта рыба позволяет узнать новое не только о рыбах – в ней есть также что-то и от нас самих. В первую очередь именно поиск этой связи и привел меня в Арктику

Путь развития скелета передних конечностей – от рыб до собак и людей.

Откуда у меня такая уверенность в том, что это ископаемое что-то говорит о моем собственном теле? Рассмотрим шею тиктаалика. У всех рыб, живших до него, был набор костей, с помощью которых череп был соединен с плечевым поясом, так что всякий раз, когда рыба поворачивала тело, вместе с ним поворачивалась и голова. А тиктаалик не такой. У него голова не соединена с плечевым поясом. Такое строение объединяет его с амфибиями, рептилиями, птицами и млекопитающими, к которым относимся и мы сами. Переход от рыб к этим животным начался, когда рыбы вроде тиктаалика утратили несколько маленьких косточек.

Можно сходным образом проанализировать развитие костей запястья, ребер, слуховых косточек и других частей нашего скелета – все эти части развились из структур рыб вроде тиктаалика. Это ископаемое – такая же часть нашей истории, как африканские гоминиды, например австралопитек афарский (Australopithecus afarensis) – знаменитая Люси. Изучая Люси, мы разбираемся в истории нас как продвинутых приматов. Изучая тиктаалика, мы разбираемся в истории нас как потомков рыб.

Итак, что мы узнали? В нашем мире царит такой высокий порядок, что прогулку по зоопарку можно использовать, чтобы предугадать, какого рода ископаемые будут обнаружены в тех или иных слоях горных пород, залегающих по всему свету. Такие предсказания могут позволить найти ископаемых, свидетельствующих о важных событиях в древней истории жизни на нашей планете. Следы этих событий записаны внутри нас в виде черт нашего строения.

О чем я еще не сказал, так это о том, что проследить нашу историю можно также по генам, то есть с помощью ДНК. Эти сведения о нашем прошлом не хранятся в горных породах – они хранятся в каждой клетке нашего тела. Мы воспользуемся и ископаемыми, и генами, чтобы разобраться в своей истории – в истории возникновения наших тел.

Глава 2

Откуда такая хватка

Увиденное на практических занятиях по анатомии человека невозможно забыть. Представьте себе, что вы заходите в комнату, где вам предстоит в течение нескольких месяцев разбирать человеческие тела по частям, слой за слоем, орган за органом, а также выучить десятки тысяч названий.

За месяцы перед тем, как мне впервые пришлось препарировать тело человека, я старался подготовиться к тому, что увижу, как на это отреагирую и что почувствую. Оказалось, что мир моего воображения нисколько не подготовил меня к этому опыту. Тот момент, когда мы сняли простыню и впервые увидели мертвое тело, был совсем не таким напряженным, как я ожидал. Нам предстояло

вскрыть грудную клетку, поэтому мы обнажили ее, оставив голову, руки и ноги закрытыми пропитанной фиксирующей жидкостью марлей. Ткани этого тела казались не такими уж человеческими. Обработанное рядом фиксирующих растворов, тело не кровоточило в местах разрезов, а кожа и внутренние органы имели консистенцию резины. Я начал думать, что труп больше похож на куклу, чем на человека. Прошло несколько недель, в течение которых мы исследовали органы грудной клетки и брюшной полости. Мне казалось, что я уже достиг некоторого профессионализма. После изучения большинства внутренних органов во мне развилась уверенность в себе, основанная на всем полученном опыте. Я уже много раз своими руками резал и препарировал и выучил анатомию большинства основных органов. Все это делалось механически, бесстрастно, по-научному.

Эти приятные иллюзии полностью рухнули, когда дело дошло до кистей рук. Когда я освободил от марли пальцы и впервые увидел суставы, подушечки пальцев и ногти трупа, во мне высвободились эмоции, которые никак не проявляли себя в последние несколько недель. Это была не кукла, не манекен – когда-то это был живой человек, который носил что-то в этой руке и кого-то ею ласкал! Внезапно механическое занятие, препарирование, стало чем-то прочувствованным и глубоко личным. До этого момента я не испытывал к этому мертвому телу ничего. Я уже доставал из него желудок, желчный пузырь и другие органы, но какой душевно здоровый человек почувствует себя по-человечески связанным с другим при виде желчного пузыря?

Что такого есть в руке, что она кажется квинтэссенцией человеческого? Наверное, на этот вопрос можно ответить так: рука – это явная связь между нами, это символ того, что мы есть и чего можем достичь. Наша способность хватать, держать, строить и воплощать свои замыслы заключена в этом наборе костей, мышц, нервов и сосудов.

Общий план строения конечностей позвоночных животных: одна кость, за ней две кости, за ними маленькие косточки запястья или лодыжки, за ними пальцы.

Первое, что бросается в глаза, когда видишь человеческую руку изнутри, – это ее компактность. Возвышение большого пальца (тенар) содержит четыре разных мышцы. Повертите большим пальцем и наклоните кисть, и одновременно слаженно заработают десять мышц и по крайней мере шесть костей. Внутри запястья не меньше восьми маленьких косточек задвигаются друг относительно друга. Сгибая кисть, вы используете несколько мышц, которые начинаются у локтя, переходят в сухожилия и заканчиваются внутри ладони. Даже самые простые движения предполагают сложное взаимодействие разных структур, заключенных в небольшом пространстве руки.

Сложность и поразительная человечность наших рук уже давно вызывают интерес и восторг ученых. В 1822 году выдающийся шотландский хирург сэр Чарльз Белл написал классическую книгу об анатомии кистей рук. Ее заголовком уже все сказано: “Рука, ее механизм и важнейшие функции как свидетельство высшего замысла”. По мнению Белла, строение руки совершенно, потому что она сложна и как нельзя лучше приспособлена для нашего образа жизни. Ему представлялось, что такой совершенный замысел мог иметь лишь божественное происхождение.

Одним из ведущих ученых, занимавшихся поиском божественного порядка в наших телах, был великий анатом сэр Ричард Оуэн. Ему повезло быть анатомом в середине XIX века, когда науке еще предстояло открыть в удаленных уголках Земли немало групп животных, совершенно неизвестных ранее. По мере того как европейцы исследовали новые районы нашей планеты, в лаборатории и музеи попадали самые разнообразные экзотические существа. Оуэн впервые описал строение гориллы по экземпляру, привезенному из экспедиции в центральную Африку. Он впервые предложил термин “динозавр” – так он назвал ранее неизвестную группу ископаемых, одно из которых было обнаружено в Англии. Изучение всех этих причудливых созданий позволило ему увидеть определенный порядок в кажущемся хаосе биологического разнообразия.

Оуэн открыл, что наши руки и ноги, в том числе кисти и ступни, соответствуют некой общей для многих животных схеме. Анатомы и задолго до Оуэна знали схему строения скелета человеческой руки: одна плечевая кость, две кости предплечья, набор из девяти маленьких косточек запястья и пять пальцев, состоящих из нескольких последовательно соединенных костей. Скелет ноги устроен сходным образом: одна кость, две кости, много маленьких косточек и пять пальцев. Сравнивая эту схему со схемой строения разнообразных скелетов, привезенных со всего света, Оуэн сделал замечательное открытие.

Гений Оуэна проявился не в том, что он выявил различия между разными скелетами. Он открыл и впоследствии пропагандировал в своих лекциях и книгах черты исключительного сходства в строении таких непохожих существ, как лягушки и люди. У всех представителей наземных позвоночных конечности, будь то крылья, ласты, ноги или руки, принципиально устроены одинаково. Одна кость, плечевая в передних конечностях и бедренная в задних, соединена суставом с двумя костями, которые в свою очередь соединяются с рядом маленьких косточек, которые соединяются с костями пальцев. Такова схема строения любых конечностей наземных позвоночных. Хотите получить крыло летучей мыши? Сделайте пальцы очень длинными. Ногу лошади? Удлините средний палец и сократите остальные. Ногу лягушки? Удлините кости ноги и срастите некоторые из них друг с другом. Различия между скелетами этих существ состоят в форме и размере костей, а также в числе пальцев и косточек, с которыми они соединяются. Несмотря на существенные изменения функций и облика конечностей, принципиальный план их строения всегда остается одним и тем же.

Открытие общего плана строения конечностей было для Оуэна лишь первым этапом. Исследуя черепа и позвоночники, да и весь скелет разных животных, он везде обнаружил то же самое. Существует фундаментальный план строения скелета, общий для всех позвоночных. Лягушки, летучие мыши, люди и ящерицы представляют собой вариации на одну и ту же тему. По мнению Оуэна, эта тема есть не что иное, как божественный замысел Создателя.

Вскоре после того, как Оуэн опубликовал свои выводы в классической монографии “О природе конечностей”, Чарльз Дарвин нашел этим фактам изящное объяснение. Причина, по которой крыло летучей мыши и рука человека обладают общей схемой строения, состоит в том, что летучие мыши и люди происходят от общего предка. То же относится к руке человека и крылу птицы, ноге человека и ноге лягушки – и к любым конечностям любых наземных позвоночных. Между теориями Оуэна и Дарвина есть принципиальная разница: теория Дарвина позволяет нам делать довольно точные предсказания. Следуя Дарвину, мы можем ожидать, что описанный Оуэном план имеет историю, которую можно проследить вплоть до существ, у которых вовсе не было конечностей. Где же нам искать истоки этой схемы? Их нужно искать в рыбах и в скелетах их плавников.

Обратимся к рыбам

Во времена Оуэна и Дарвина пропасть между плавниками рыб и конечностями наземных позвоночных казалась почти непреодолимой. Между этими органами нет никакого очевидного сходства. Снаружи плавники большинства рыб оторочены перепонкой. Наши конечности не имеют таких перепонок, как и конечности всех других наземных позвоночных, в том числе вторично вернувшихся в воду. Если мы вскроем плавник и рассмотрим его скелет, сравнивать то, что мы увидим, со строением скелета наших конечностей будет ничуть не проще. У большинства рыб нет ничего, что можно было бы сравнить с выявленной Оуэном схемой (кость – две кости – много косточек – пальцы). У всех наземных позвоночных в основании находится одна длинная кость – плечевая в передних конечностях и бедренная в задних. У рыб весь скелет выглядит совсем по-другому. В основании типичного рыбьего плавника расположено четыре или более костей.

В середине XIX века анатомы впервые познакомились с загадочными рыбами, живущими на южных материках. Одна из первых таких рыб была открыта немецкими учеными, работавшими в Южной Америке. Она похожа на обычную рыбу с плавниками и чешуей, но глубже глотки у нее имеются два больших сосудистых мешка – легкие! И все же у этого существа есть чешуя и плавники. Первооткрыватели этого животного были столь озадачены, что дали ему название Lepidosiren paradoxa, что означает “парадоксальное чешуйчатое земноводное”. Другие рыбы, тоже, как и лепидосирен, наделенные легкими, были вскоре обнаружены в Африке и в Австралии. Они получили название двоякодышащих. Исследователи Африки привезли одну такую рыбу Оуэну. Некоторые ученые, например Томас Гексли и Карл Гегенбаур, находили, что эти рыбы представляют собой что-то вроде гибрида между амфибией и рыбой. Местные жители считали их вкусными.

Схема строения скелетной основы плавников этих рыб, в которой на первый взгляд нет ничего особенного, сыграла в науке немалую роль. В основании их плавников находится всего одна кость, которая крепится к лопатке. Для любого анатома сходство с наземными позвоночными очевидно. У нас тоже есть всего одна плечевая кость, которая крепится к лопатке. Стало быть, двоякодышащие – это рыбы, у которых есть плечевая кость. Примечательно, что эти рыбы, кроме того, обладают легкими. Что это, простое совпадение?

Когда горстка живущих в наши дни видов этой группы стала известна науке XIX века, в распоряжение ученых стали поступать и свидетельства иного рода. Как вы уже, наверное, догадались, речь идет об ископаемых древних рыбах.

Одна из первых таких рыб была обнаружена на берегах полуострова Гаспе в Квебеке (Канада) в породе возрастом около 380 миллионов лет. Этой рыбе дали название Eusthenopteron. У эустеноптерона наблюдалась удивительная смесь признаков рыб и земноводных. Из описанных Оуэном костей конечности (кость – две кости – много косточек – пальцы) плавники эустеноптерона содержали первые два элемента (кость – две кости). Стало быть, у некоторых рыб плавники были устроены подобно конечностям позвоночных. Оуэновский архетип не был извечным божественным свойством жизни. Он развился постепенно, и следы его развития сохранились в породах девонского периода, которые образовались в промежутке между 390 и 360 миллионами лет назад. Это важное открытие определяло новую программу для дальнейших исследований: где-то в породах девонского периода нужно искать свидетельства возникновения пальцев.

В двадцатые годы XX века ископаемые принесли новые сюрпризы. Молодому шведскому палеонтологу Гуннару Саве-Содербергу посчастливилось исследовать восточное побережье Гренландии. В то время там была совершенная terra incognita, но Саве-Содерберг установил, что эта территория необычайно богата девонскими отложениями. Он был одним из немногих палеонтологов-полевиков того времени и благодаря неутомимому духу исследователя и исключительному вниманию к деталям смог добыть за свою недолгую жизнь немало ценных для науки ископаемых. (К сожалению, его жизнь трагически оборвалась: он умер молодым от туберкулеза вскоре после того, как его экспедиции принесли науке ряд поразительных открытий.) В ходе экспедиций, предпринятых в период с 1929 по 1934 год, команда Саве-Содерберга открыла ископаемых, которые в те времена прославились как одно из важнейших недостающих звеньев палеонтологической летописи. Об этом открытии писали газеты всего мира, его высмеивали в карикатурах и обсуждали его важность в редакционных статьях. Открытые группой Саве-Содерберга ископаемые обладали настоящим калейдоскопом признаков – голова и хвост напоминали рыбьи, но конечности были вполне сформированные, как у наземного позвоночного (с развитыми пальцами), а позвонки необычайно похожи на позвонки земноводных. После смерти Саве-Содерберга его друг и коллега Эрик Ярвик описал этих ископаемых, и одно из них получило название Ichthyostega soderberghi (ихтиостега Содерберга) в честь Гуннара Саве-Содерберга.

У большинства рыб (например, у рыбы-зебры, вверху) плавники окружены перепонкой, а в их основании находится много косточек. Двоякодышащие рыбы (вторая сверху) привлекли внимание ученых тем, что у них, как и у нас, в основании конечности располагается одна кость.

Эустеноптерон (второй снизу) показал, как заполнялся промежуток между рыбами и наземными животными: у него уже имеются кости, подобные нашему плечу и предплечью. Акантостега (внизу) повторяет структуру конечности эустеноптерона за тем исключением, что у нее уже наличествуют полностью сформированные фаланги пальцев.

К сожалению, ихтиостега не сильно помогла решению нашей проблемы. По ряду черт строения головы и позвоночника она и правда была весьма примечательной промежуточной формой, но мало говорила о происхождении конечностей, потому что у нее уже были пальцы на ногах, как у всех настоящих амфибий (земноводных). Несколько десятилетий спустя другое открытое Саве-Содербергом ископаемое, которому, когда о нем было объявлено, не уделили особого внимания, позволило сильно продвинуться в решении вопроса о происхождении конечностей наземных позвоночных. Этому второму ископаемому суждено было оставаться загадкой до 1988 года, когда моя коллега-палеонтолог Дженни Клэк, представленная читателям в первой главе, вернулась на исследованные Саве-Содербергом местонахождения и обнаружила там новые остатки этого древнего существа. Это животное было описано по добытым шведским ученым фрагментам еще в двадцатые годы и получило название Acanthostega gunnari (акантостега Гуннара). Новые находки позволили выяснить, что у акантостеги тоже были полноценные конечности с развитыми пальцами. Но один из ее признаков оказался настоящим сюрпризом: Дженни Клэк установила, что конечность акантостеги имела форму плавника, подобного ластам тюленя. Исходя из этого Дженни предположила, что древнейшие конечности наземных позвоночных возникли как орган для плавания, а не для передвижения по суше. Эта идея была ощутимым прорывом, но по-прежнему оставался без ответа вопрос, как именно возникли конечности, ведь у акантостеги были вполне сформированные пальцы, а также запястье и лодыжка и не было свойственной рыбьим плавникам перепонки. Конечности акантостеги были полноценными конечностями наземного позвоночного, хотя и весьма

примитивного. Чтобы узнать, как возникли кисти рук и ступни ног, запястье и лодыжка, нужно было искать более древних ископаемых. Так обстояли дела вплоть до 1995 года.

Открытие пальцев и запястий рыб

Как-то раз в 1995 году мы с Тедом Дешлером вернулись домой в Филадельфию, после того как проехали по всей центральной Пенсильвании в поисках новых дорожно-строительных работ. Мы нашли чудесный участок выемки грунта на 15-й трассе к северу от Уильямсфорта, где департаментом транспорта был сотворен гигантский обрыв из песчаника возрастом около 365 миллионов лет. Песчаник здесь взрывали динамитом, и вдоль дороги были оставлены груды больших камней. Это было идеальное место для охоты на ископаемых. Мы вышли из машины и стали ползать по камням, многие из которых были размером с небольшую микроволновую печь. На поверхности некоторых из них попадалась рыбья чешуя, и мы решили захватить несколько таких камней с собой в Филадельфию. Когда мы приехали к Теду домой, его четырехлетняя дочка Дейзи выбежала встречать папу и спросила, что мы нашли.

Наш несравненный плавник. К сожалению, нам удалось найти только этот отдельный образец. Рисунок вверху воспроизведен с разрешения Скотта Ролинса (Университет Аркадия). Фото автора.

Показывая Дейзи один из камней, мы внезапно осознали, что из него выступает фрагмент плавника крупной рыбы. В поле мы этого почему-то не заметили. Вскоре нам предстояло узнать, что это не обычный рыбий плавник: внутри его было немало костей. Препараторы в лаборатории потратили около месяца на извлечение скелета этого плавника из камня, и когда он был извлечен, взорам людей впервые предстали остатки скелета рыбы, соответствующие схеме Оуэна. Ближе всего к туловищу располагалась одна кость. К ней крепились еще две. От них отходили шесть рядов небольших костей. По всем признакам это была рыба, наделенная пальцами.

Плавник этой рыбы обладал полноценной перепонкой, его основание было покрыто чешуей, а лопатка относилась к рыбьему типу, но в глубине плавника находились кости, во многом соответствующие костям “стандартной” конечности наземного позвоночного. К сожалению, в нашем распоряжении был лишь отдельный плавник. Теперь нам надо было найти место, где можно было обнаружить полные скелеты таких существ. Единственный отдельный плавник никогда бы не позволил нам ответить на главные вопросы – как это существо пользовалось своими плавниками и были ли в его плавниках суставы, соответствующие нашим и работающие по тому же принципу. Ответ можно было найти, только добыв целый скелет.

На его поиск ушло почти десять лет. И не мне первому посчастливилось увидеть его. Первыми были два препаратора ископаемых, Фред Маллисон и Боб Машек. Препараторы у нас занимаются тем, что с помощью зубоврачебного оборудования удаляют фрагменты породы с собранных нами в поле образцов, тем самым извлекая на свет заключенные в толще породы ископаемые остатки. Препаратору требуются месяцы, а иногда и годы на то, чтобы превратить большой камень, содержащий ископаемые остатки, в красивый образец, доступный для изучения.

В ходе экспедиции 2004 года мы собрали на острове Элсмир три крупных куска породы девонского периода размером с большой предмет ручной клади. В каждом из них были остатки животного с плоской головой: те, что я обнаружил подо льдом на дне карьера, экземпляр Стива и еще один экземпляр, найденный нами в последнюю неделю экспедиции. В полевых условиях мы очистили головы этих ископаемых и извлекли окружавшие их крупные куски породы, чтобы в лабораторных условиях исследовать строение тела этих существ. Затем образцы были упакованы в гипс для транспортировки. Когда в лаборатории с образцов снимают гипс, это похоже на вскрытие капсулы с посланием из прошлого. В этом гипсе заключены фрагменты нашей жизни в Арктике, о которых у нас также имеются сделанные в поле заметки, посвященные каждому собранному образцу. Когда мы снимаем гипс, образцы пахнут тундрой.

Кости переднего плавника тиктаалика – рыбы, у которой есть запястье.

Фред в Филадельфии и Боб в Чикаго одновременно удаляли породу с двух разных образцов. Из одного из них Боб извлек маленькую косточку, входившую в состав плавника большой рыбы (тогда мы еще не назвали ее тиктааликом). Но вот что отличало эту кубическую косточку от любой другой известной ранее косточки рыбьего плавника: на ее конце был сустав с углублениями для четырех других костей. Иными словами, эта косточка была поразительно похожа на кость запястья. К сожалению, плавники образца, с которым работал Боб, слишком плохо сохранились, чтобы можно было сказать что-то большее. Новые данные пришли неделей позже из Филадельфии. Фред, пользуясь своими зубоврачебными инструментами, как по волшебству извлек из камня остатки целого плавника. Как раз на правильном месте, на конце плечевой кости, в этом плавнике была та самая косточка. И к той самой косточке крепились четыре следующих. Нашим взорам предстало свидетельство происхождения части наших собственных тел, заключенное в рыбе возрастом 375 миллионов лет. Мы нашли рыбу, у которой было запястье.

За последующие несколько месяцев нашим взорам предстала значительная часть остального скелета этой конечности. Она представляла собой нечто среднее между рыбьим плавником и конечностью наземного позвоночного. На плавниках у нашей рыбы была перепонка, но их скелет представлял собой примитивный вариант схемы Оуэна: одна кость – две кости – много косточек – пальцы. В полном соответствии с предсказанием, следующим из теории Дарвина, в определенном месте и в отложениях определенного времени мы нашли форму, промежуточную между двумя разными группами животных.

Находка этого плавника была лишь первой частью нашего открытия. Самое интересное для Теда, Фэриша и меня началось, когда мы стали разбираться с функциями и работой этого плавника и выдвигать гипотезы о том, почему в нем вообще возник сустав запястья. Решение этих проблем можно найти, изучая строение костей и соединяющих их суставов.

Когда мы разобрали по частям скелет плавника тиктаалика, мы обнаружили нечто весьма примечательное: поверхности костей в каждом суставе очень хорошо сохранились. У тиктаалика были лопатка, плечо, предплечье и запястье, состоящие из тех же костей, что и соответствующие части человеческой руки. Изучая строение суставов, соединяющих эти кости, чтобы понять, как они двигались друг относительно друга, мы убедились, что конечности тиктаалика были приспособлены для выполнения довольно необычной функции: эта рыба могла отжиматься.

Когда мы отжимаемся, ладони наших рук прижаты к земле, руки согнуты в локтях, и мы поднимаем и опускаем туловище с помощью грудных мышц. Тело тиктаалика позволяло ему проделывать то же самое упражнение. Конечности могли сгибаться в локтях, как наши руки, а запястье позволяло отогнуть конец плавника в сторону, так что рыбья “ладонь” прижималась к земле. Что же до грудных мышц, у тиктаалика они были, по-видимому, прекрасно развиты. Если мы посмотрим на его лопатки и на нижнюю сторону его плечевых костей в том месте, где они соединялись друг с другом, мы увидим массивные гребни и борозды, к которым, вероятно, крепились крупные грудные мышцы. Тиктаалик умел выполнять известный приказ “упал-отжался”!

Реконструкция тиктаалика в натуральную величину (вверху) и рисунок его плавника (внизу). В этом плавнике есть плечо, предплечье и протозапястье, которые позволяли тиктаалику выполнять что-то вроде отжиманий.

Зачем рыбе могло понадобиться отжиматься? Чтобы разобраться в этом, рассмотрим все ее тело. Плоская голова с глазами наверху и ребра, по-видимому, говорят нам о том, что тиктаалик мог успешно передвигаться по дну на мелководьях рек или озерков и даже шлепать по грязи возле берега. Плавники, позволяющие поддерживать тело, помогали бы рыбе сохранять маневренность во всех этих средах. Эта интерпретация также соответствует геологическим особенностям места, где мы нашли ископаемые остатки тиктаалика. Строение слоев здешних горных пород и зернистая структура самих этих пород обладают характерными признаками отложений, оставленных неглубокой рекой, окруженной обширной, регулярно заливаемой поймой.

Но зачем вообще жить в подобной среде? Что могло заставить рыбу покинуть толщу воды и поселиться на мелководьях? Подумайте вот о чем: едва ли не все рыбы, жившие в реках в те далекие времена, 375 миллионов лет назад, были хищниками того или иного рода. Некоторые из них достигали в длину пяти метров – вдвое больше, чем самый крупный тиктаалик. Самая обычная рыба, остатки которой встречаются рядом с остатками тиктаалика, превышала два метра в длину и имела голову размером с баскетбольный мяч. Ее зубы были размером с костыли, которыми закрепляют железнодорожные рельсы.

Захотелось бы вам поплавать в этой древней реке?

Не будет преувеличением сказать, что в этой среде шла война всех против всех. Стратегии, которые позволяли выжить в таких условиях, вполне очевидны: стать большим, одеться в доспехи или выбраться из воды. Похоже, наши древние предки были не из тех, кто лезет в драку.

Эта склонность наших предков избегать конфликтов имеет для нас огромное значение. Мы можем найти истоки структур наших собственных конечностей в плавниках этих рыб. Подвигайте кистью руки, сгибая и разгибая руку в запястье. Сожмите и разожмите пальцы. Делая это, вы пользуетесь суставами, впервые возникшими в плавниках рыб вроде тиктаалика. До этого таких суставов не было. После этого мы находим их в конечностях наземных позвоночных.

Перейдем от тиктаалика к амфибиям и дальше, к млекопитающим, и нам станет совершенно ясно, что древнейшие обладатели костей нашего плеча и предплечья и даже нашего запястья и кисти руки обладали также чешуей и перепонкой на плавниках. Эти существа были рыбами.

Что нам дает этот план строения, одна кость – две кости – много косточек – пальцы, который Оуэн считал замыслом Создателя? У некоторых рыб, например двоякодышащих, у основания скелета плавников тоже имеется одна кость. У других, например у эустеноптерона, есть уже конструкция “одна кость – две кости”. Далее идут существа вроде тиктаалика, у которых есть одна кость, две кости и много косточек. В наших конечностях заключена не одна рыба, а целый аквариум. Фундаментальный план Оуэна был разработан рыбами.

Хотя тиктаалик, по-видимому, действительно мог отжиматься, он никак не мог играть в бейсбол или на фортепиано и ходить на двух ногах. Путь от тиктаалика к человеку очень долог. Но вот важный и во многом удивительный факт: большинство костей, которые позволяют людям ходить, или бросать что-нибудь, или хватать что-нибудь рукой, впервые появились у животных, живших десятки и сотни миллионов лет назад. Предшественники наших плечевых и бедренных костей были у рыб вроде эустеноптерона, которому 380 миллионов лет. Тиктаалик открыл нам ранние этапы эволюции нашего запястья, ладони и пальцев. Первые настоящие пальцы мы видим у амфибий, которым 365 миллионов лет, таких как акантостега. Наконец, полный комплект всех костей человеческого запястья и лодыжки впервые встречается у рептилий возрастом 250 миллионов лет. Скелет наших рук и ног формировался за сотни миллионов

лет, сперва в плавниках рыб, затем в конечностях амфибий и рептилий.

Но в чем состояли те важнейшие изменения скелета, которые позволили нам пользоваться руками и ходить на двух ногах? Как они происходили? Давайте обратимся к двум простым примерам о конечностях, чтобы отчасти ответить на эти вопросы.

Мы, люди, как и многие другие млекопитающие, можем вращать большим пальцем руки относительно предплечья. Это нехитрое умение очень важно для использования рук в повседневной жизни – представьте, как сложно нам было бы есть, писать или бросать мяч, если бы наша кисть была зафиксирована неподвижно. Мы обладаем этой способностью потому, что одна из костей предплечья, лучевая, вращается относительно оси, проходящей через локтевой сустав. Его строение на удивление хорошо приспособлено для этого. В конце плечевой кости располагается шарик. Кончик лучевой кости, закрепленный здесь, снабжен красивым маленьким углублением, в которое входит участок поверхности шарика. Этот шаровой шарнир и позволяет нам вращать кистью руки. Такое движение называют “пронация” (вращательное движение кисти снаружи внутрь – правая рука при этом будет двигаться, соответственно, против часовой стрелки, левая – по часовой стрелке) и “супинация” (в обратном направлении). У кого мы находим истоки этой способности? У существ вроде тиктаалика. У тиктаалика на конце локтевой кости располагается удлиненное утолщение, с которым соединяется углубление на конце лучевой кости. Когда тиктаалик сгибал конечность в локте, кончик его радиальной кости вращался (пронатировал) относительно локтя. Стадии совершенствования этой способности мы наблюдаем у амфибий и рептилий, у которых конец плечевой кости превращается в настоящий шарик, почти такой же, как у нас.

Обратимся теперь ко второй паре конечностей. Здесь мы найдем ключевой признак, который позволяет нам ходить.

Этот признак есть не только у нас, но и у других млекопитающих. В отличие от рыб и амфибий у нас колени и локти смотрят в разные стороны. Это отличие принципиально: представьте себе, каково было бы ходить, если бы колени смотрели назад. Совсем другую картину мы видим у рыб вроде эусте-ноптерона, у которых сочленения, соответствующие нашим коленям и локтям, смотрят по сути в одну и ту же сторону. В ходе внутриутробного развития колени и локти у нас поворачиваются и занимают положение, свойственное человеку.

Когда мы ходим на двух ногах, движения наших бедер, коленей, лодыжек и ступней несут наше тело вперед в выпрямленном положении, совсем не похожем на приземленную позу таких существ, как тиктаалик. Принципиальная разница заключается в положении бедра. Наши ноги не торчат в стороны, как ноги крокодила или амфибии или плавники рыбы: они направлены вниз, под туловище. Положение ног поменялось благодаря изменениям тазобедренного сустава, таза и бедра: наш таз приобрел форму чаши, вертлужная впадина тазобедренного сустава, в которой крепится бедро, углубилась, а само бедро обрело свою характерную шейку, которая позволяет ему быть направленным вниз, а не вбок от туловища.

Означают ли эти факты нашей древней истории, что людей нельзя считать особенными и уникальными среди других живых существ? Конечно, нет. Напротив, знания о глубоких корнях человечества делают факт нашего существования еще примечательнее: все наши экстраординарные способности развились на основе признаков, выработанных в ходе эволюции древними рыбами и другими животными. Из общих для многих животных частей возникла поистине уникальная конструкция. Мы не отделены пропастью от мира прочих живых существ – мы являемся его частью до мозга костей и, как мы вскоре убедимся, даже до генов, заключенных в наших клетках.

Оглядываясь назад, я понимаю, что тот момент, когда я впервые увидел запястье рыбы, означал для меня не меньше, чем тот, когда я освободил от марли пальцы трупа на практических занятиях по анатомии человека. В обоих случаях я открыл для себя глубокую связь между мной самим и другим существом.

Глава 3

Ручные гены

В июле 2004 года, пока мы с моими коллегами добывали в Арктике первые образцы тиктаалика, Рэнди Дан, молодой сотрудник моей лаборатории, трудился в поте лица в Чикаго над генетическими экспериментами с зародышами акул и скатов. На морских пляжах нередко можно встретить небольшие черные

яйцевые коконы, которые называют “кошельками русалок”. Внутри такого “кошелька” заключено содержащее желток яйцо, в котором развивается эмбрион (зародыш) ската. За годы работы Рэнди провел многие сотни часов, экспериментируя с эмбрионами, заключенными в этих яйцевых коконах, нередко продолжая работу далеко за полночь. В то решающее лето 2004 года Рэнди занимался тем, что с помощью шприца вводил в исследуемые яйца химический аналог витамина А. После этого он оставлял зародыши развиваться в течение нескольких месяцев, пока они не вылуплялись из яйца.

Такие опыты могут показаться странным способом проводить большую часть года, тем более для молодого ученого, планирующего успешную научную карьеру. Почему акулы и скаты? Почему витамин А?

Чтобы объяснить, в чем смысл этих экспериментов, надо вернуться на шаг назад и посмотреть, на какие вопросы они могут ответить. В этой главе мы наконец добрались до рецепта, записанного в нашей ДНК, по которому из единственной яйцеклетки развивается все наше тело. В момент оплодотворения яйцеклетки сперматозоидом у нее нет, например, маленьких рук, из которых развились бы руки эмбриона. Руки будут построены на основании информации, содержащейся в яйцеклетке. Здесь мы подходим к очень глубокой проблеме. Одно дело – сравнивать скелет наших рук со скелетом рыбьих плавников. Но что может дать нам сравнение генетического рецепта, по которому формируются наши руки, с рецептом, по которому формируются рыбьи плавники? Чтобы вместе с Рэнди найти ответ на этот вопрос, надо познакомиться с чередой открытий, которые позволили увидеть общие корни наших рук, акульих плавников и даже мушиных крылышек.

Как мы уже убедились, прорубить широкое окно в наше далекое прошлое позволяет открытие существ, которые часто демонстрируют упрощенные варианты наших тел внутри своих. Мы не можем ставить эксперименты с давно вымершими животными. А эксперименты – великая вещь, потому что они позволяют манипулировать условиями и смотреть, как это скажется на результатах. По этой причине моя лаборатория разделена на два подразделения: половина занимается ископаемыми, а другая половина – зародышами и ДНК. Вот такое у нашей лаборатории раздвоение личности. Закрытое на замок хранилище, где лежат ископаемые остатки тиктааликов, соседствует с морозильной установкой, где хранятся наши драгоценные образцы ДНК.

Эксперименты с ДНК обладают огромным потенциалом для поиска в себе рыбы. Что если поставить такой эксперимент: обрабатывать рыбий зародыш разными химическими веществами и добиться, чтобы его плавник стал отчасти похож на нашу руку? Или эксперимент, который показал бы, что гены, отвечающие за формирование рыбьих плавников, по сути соответствуют генам, отвечающим за формирование наших рук?

Начнем с очевидной загадки. Наше тело состоит из клеток сотен разных типов. Разнообразие клеток определяет строение и функции наших тканей и органов. Клетки, из которых состоят наши кости, нервы, кишечник и другие органы, выглядят и ведут себя совершенно по-разному. Несмотря на эти различия, у всех клеток нашего тела есть одно фундаментальное общее свойство: в них содержится совершенно одинаковая ДНК. Если в ДНК записана информация о том, как должны развиваться наше тело, его ткани и органы, почему же в таких разных клетках, как те, из которых состоят мышцы, нервы и кости, содержится одинаковая ДНК?

Ответ на этот вопрос состоит в том, что в разных клетках включены и работают разные фрагменты ДНК (гены). Клетка кожи отличается от нейрона (нервной клетки) тем, что в этих клетках работают разные гены. Когда ген включен, по записанному в нем рецепту синтезируется белок, который может определять облик и поведение клетки. Поэтому, чтобы понять, в чем разница между клеткой, входящей в состав глаза, и клеткой, входящей в состав скелета руки, нужно разобраться в тех генетических переключателях, которые управляют активностью генов во всех клетках и тканях.

Вот что особенно важно: эти генетические переключатели и позволяют формировать наше тело в ходе развития. В момент зачатия наш организм возникает в виде единственной клетки, содержащей ДНК с полным рецептом для сборки будущего тела. План, по которому строится все наше тело, реализуется посредством инструкций, которые все записаны внутри этой единственной микроскопической клетки. Чтобы пройти путь от простой яйцеклетки до всего человека, состоящего из триллионов специализированных клеток, выстроенных в правильном порядке, на строго определенных этапах развития должны включаться и выключаться целые батареи генов. Как симфония, которая получается из того, что множество отдельных инструментов исполняет разные ноты, человеческое тело формируется за счет работы множества генов, включаемых и выключаемых внутри каждой клетки в ходе нашего развития.

Гены – это отрезки ДНК, содержащейся в каждой клетке нашего тела.

Возможность работать с генами – неоценимый подарок для тех, кто изучает строение и работу живых организмов. Благодаря этой возможности мы можем сравнивать действие разных генов и выяснять, какие изменения происходят под их действием при формировании новых органов в процессе развития. Возьмем, к примеру, конечности. Сравнивая набор генов, работающих в клетках формирующегося рыбьего плавника, с набором генов, работающих в клетках развивающейся человеческой руки, мы можем установить, какие различия есть между плавником и рукой на генетическом уровне. Такое сравнение позволяет нам выявить возможных виновников – генетические переключатели, изменение которых могло привести к превращению плавников в конечности наземного позвоночного. После этого мы можем изучить работу этих генов в организме эмбриона и попытаться выяснить, как именно они изменились. Можно ставить даже такие эксперименты – манипулировать работой генов и смотреть, как меняется организм эмбриона под действием определенных условий или веществ.

Чтобы разобраться в том, в каких генах записан рецепт формирования наших рук и ног, мы должны действовать подобно криминалистам из телесериала “C.S.I.: Место преступления” – начинать с тела и докапываться до сути. Мы начнем с того, что рассмотрим строение наших конечностей, а затем перейдем к тканям, клеткам и генам, которые это строение определяют.

Создавая руки

Наши конечности трехмерны – у них есть верх и низ, сторона мизинца и сторона большого пальца, основание и конец. Кости на конце конечности – в пальцах – отличаются от костей внутри плеча или таза. Сторона мизинца и сторона большого пальца тоже отличаются друг от друга. Большой палец устроен иначе, чем мизинец. Окончательная цель наших исследований развития конечности, их Святой Грааль, состоит в том, чтобы разобраться, какие гены определяют

различия между элементами ее скелета и что управляет ее развитием во всех трех измерениях. Какие отрезки ДНК делают большой палец не таким, как мизинец? Что делает наши пальцы не такими, как кости плеча и предплечья? Если разобраться в генах, которые всем этим управляют, мы проникнем в тайну рецепта, по которому формируется наше тело.

Все генетические переключатели, определяющие формирование пальцев, запястья, костей плеча и предплечья, срабатывают в период с третьей по восьмую неделю после зачатия. В самом начале своего развития человеческие конечности представляют собой крошечные зачатки в виде выростов на поверхности тела эмбриона. Две недели эти выросты увеличиваются в размерах, пока на конце их не образуется уплощенное расширение. Внутри этого расширения располагаются миллионы клеток, из которых в конечном итоге разовьются скелет, нервы и мышцы, которыми человек будет пользоваться всю оставшуюся жизнь.

Развитие конечности на примере крыла цыпленка. Все ключевые стадии развития скелета крыла проходят внутри яйца.

Для изучения процессов формирования всех этих структур нужно исследовать строение эмбрионов и иногда вмешиваться в процесс их развития, чтобы выяснять, что происходит, когда развитие идет как-то неправильно. Кроме того, нужно исследовать различных мутантов, их внутреннее строение и их гены, иногда на материале специально выведенных мутантных пород. Конечно, нельзя изучать такими методами людей. Главная задача ученых, которые первыми начинали подобные исследования, состояла в том, чтобы найти таких животных, исследование которых откроет нам тайну нашего собственного развития. Пионеры экспериментальной эмбриологии, занявшиеся развитием конечностей в тридцатые и сороковые годы прошлого века, столкнулись с несколькими проблемами. Им нужно было выбрать организм, у которого конечности зародыша были бы доступны для изучения и экспериментов. Этот зародыш должен быть сравнительно крупным, потому что иначе с ним нельзя работать хирургическими методами. Также немаловажно, чтобы этот зародыш развивался в условиях, защищающих его от воздействия сотрясений и других внешних факторов. Кроме того, и это совершенно необходимо, зародыши должны быть доступны круглый

год и в большом количестве. Вполне закономерно, что ученые остановили свой выбор на объекте, который мы покупаем в магазине, – на курином яйце.

В пятидесятые и шестидесятые годы некоторые биологи, в том числе Эдгар Цвиллинг и Джон Сондерс, провели ряд остроумных экспериментов на куриных яйцах, чтобы разобраться в том, как формируется структура скелета. Куриные эмбрионы в то время буквально разбирали и собирали по кусочкам. Их оперировали, перемещая на другие места фрагменты разных тканей, чтобы увидеть, как это скажется на развитии эмбриона. Такой подход предполагал использование тончайших методов микрохирургии и манипуляций с кусочками тканей толщиной не больше миллиметра. Пользуясь этими методами, Цвиллинг и Сондерс выявили некоторые ключевые механизмы, лежащие в основе формирования таких разных конечностей, как птичьи крылья, ласты китов и человеческие руки.

Они открыли два небольших участка ткани, которые управляют всем развитием скелетных структур внутри конечности.

Более того, крошечная полоска ткани на самом конце зачатка по сути управляет вообще всем процессом развития конечности. Стоит удалить эту полоску, и развитие останавливается. Если удалить ее на раннем этапе, у зародыша разовьется только плечо или его часть. Если удалить немного позже, разовьется плечо и предплечье. Если удалить еще позже, конечность сформируется почти полностью, но пальцы будут короткими и деформированными.

Еще один эксперимент, впервые поставленный Мэри Гасселинг в лаборатории Джона Сондерса, открыл новое перспективное направление исследований. Возьмем небольшой участок ткани с той стороны зачатка конечности, где должна сформироваться сторона мизинца, на раннем этапе развития и пересадим этот участок на противоположную сторону зачатка, чуть пониже того места, где должен сформироваться первый палец. Дадим зародышу цыпленка развиваться дальше и сформировать крыло – и получим результат, который когда-то почти для всех оказался откровением. Крыло цыпленка развилось целиком, но у него был полностью удвоенный набор пальцев. Кроме того, что еще примечательнее, дополнительный набор пальцев был зеркальным отражением нормального набора. Очевидно, что-то внутри этого участка ткани, какое-то вещество или ген, направляло процесс формирования всех пальцев конечности. Это открытие вызвало настоящую лавину новых экспериментов, которые позволили узнать, что точно такого же эффекта можно добиться и

множеством других способов. Например, можно взять куриный эмбрион и вколоть немного витамина А в зачаток его конечности или просто ввести витамин А в яйцо и дать цыпленку развиваться дальше. Если ввести витамин А в определенном количестве и на определенном этапе развития, можно получить такие же зеркально удвоенные конечности, как в опытах Гасселинг, Сондерса и Цвиллинга с пересадкой участка ткани. Этот участок назвали зоной поляризующей активности (ЗПА). По сути ЗПА и служит тем фактором, который делает сторону мизинца отличной от стороны большого пальца. Разумеется, у цыпленка нет ни настоящего мизинца, ни настоящего большого пальца, потому что пальцы в птичьих крыльях редуцированы. Мы пользуемся этими терминами условно, для обозначения тех сторон конечности, где у наделенных пятью пальцами позвоночных образуются пятый и первый пальцы соответственно.

Пересадка небольшого участка ткани, так называемой ЗПА, приводит к удвоению пальцев.

Эти открытия вызвали немалый интерес: получалось, что ЗПА каким-то образом управляла образованием пальцев. Но как? Некоторые ученые считали, что клетки ЗПА производят вещество, которое затем распространяется по зачатку конечности, указывая клеткам, какие пальцы им формировать. Главная идея была в том, что в основе всего этого явления могло лежать действие какого-то неизвестного вещества. В участках, близких к ЗПА, где концентрация этого вещества высока, клетки реагируют формированием мизинца. На противоположной стороне развивающейся руки, далеко от ЗПА, это вещество разбавлено, и клетки реагируют на это формированием большого пальца. Клетки, расположенные посередине, тоже реагируют соответственно концентрации этого вещества, формируя указательный, средний и безымянный пальцы.

Идею зависимости формирования пальцев от концентрации некоторого вещества вполне можно было проверить. В 1979 году Деннис Саммербелл вживил крошечный фрагмент фольги в зачаток конечности цыпленка между участком ЗПА и остальной конечностью. Замысел был в том, чтобы предотвратить просачивание каких-либо веществ от ЗПА на другую сторону конечности. Затем Саммербелл пронаблюдал, что происходило с клетками по

обе стороны от этой преграды. Клетки на стороне ЗПА формировали пальцы. Клетки на другой стороне не всегда формировали пальцы, а если формировали, то недоразвитые и деформированные. Вывод был очевиден: некое вещество, выделяемое ЗПА, действительно управляет формированием пальцев и определяет их облик. Чтобы выделить это вещество, исследователям пришлось обратиться к ДНК.

Рецепт на ДНК

Эту работу выполняло уже новое поколение ученых. До девяностых годов прошлого века, когда стали доступны новые молекулярные технологии, ученым не удавалось выяснить, какие гены управляют действием ЗПА.

Важный прорыв был сделан в 1993 году, когда охотой на эти гены занялись в лаборатории Клиффа Тейбина в Гарварде. Целью этой охоты было выяснить, какие молекулярные механизмы дают ЗПА способность делать мизинец непохожим на большой палец. К тому времени, когда группа Тейбина начала работу в начале девяностых, ряд экспериментов вроде тех, что я описал выше, привел ученых к убеждению, что в основе всего этого явления лежало какое-то вещество. Великолепная теория, если не считать того, что никто не знал, что это за вещество. Люди предлагали на эту роль то одно соединение, то другое и всякий раз убеждались, что эти вещества не оказывают искомого действия. Наконец сотрудники лаборатории Тейбина применили другой подход, имеющий непосредственное отношение к предмету нашей книги. Они решили обратиться за ответом к мухам.

Генетические эксперименты восьмидесятых годов позволили обнаружить поразительный набор генов, под действием которых сложное тело будущей мухи лепится из единственной яйцеклетки. Тело плодовой мушки дрозофилы имеет передний и задний концы. На переднем находится голова, на заднем – брюшко, посередине – крылья. Целые батареи генов включаются и выключаются по ходу развития личинки, и последовательность их включения и выключения позволяет оформляться различным частям тела будущей мухи.

Тейбин тогда еще не знал об этом, но в двух других лабораториях – Энди Макмэхона и Фила Ингама – тоже независимо друг от друга пришли к той же

самой идее. Результатом этого совпадения стало очень успешное сотрудничество трех разных лабораторий. Внимание Тейбина, Макмэхона и Ингама привлек один из мушиных генов. Они заметили, что работа этого гена делает один конец сегмента тела мухи отличным от другого. Генетики, работающие с дрозофилами, назвали этот ген “hedgehog” (то есть “ежик”). Разве не напоминает работа “ежика” в ходе формирования тела мухи – делать один участок тела непохожим на другой – работу ЗПА, которая делает мизинец непохожим на большой палец? От сотрудников трех лабораторий не ускользнуло это сходство. И они взялись за дело, разыскивая ген hedgehog в клетках таких животных, как куры, мыши и рыбы.

В этих лабораториях знали, как устроен ген hedgehog у мух, и сравнивали его с генами курицы, чтобы найти похожий. Каждый ген обладает определенной последовательностью составляющих его элементов (нуклеотидов). Молекулярные методы позволили исследователям “просматривать” ДНК курицы в поисках такой же последовательности, как в гене hedgehog. После долгих проб и ошибок им наконец удалось найти куриный аналог гена hedgehog.

Точно так же, как палеонтологи дают названия новым открытым видам, генетики дают названия новым генам. Генетики, занимавшиеся мухами-дрозофилами и открывшие ген hedgehog, назвали его так потому, что у мух, у которых в этом гене была мутация, на теле были щетинки, напоминающие колючки ежа. Тейбин, Макмэхон и Ингам назвали куриный аналог этого гена “Sonic hedgehog" в честь ежика Соника – персонажа видеоигр, выпускаемых компанией Sega.

Настало время для самого интересного вопроса: что именно делает Sonic hedgehog в конечностях? В лаборатории Тейбина к молекуле, присоединяющейся к этому гену, приделали пигмент, который позволял наблюдать, в каких клетках зачатка конечности этот ген работает. К немалому удивлению исследователей, они обнаружили, что этот ген задействован лишь в небольшом участке ткани, а именно в ЗПА!

Отсюда с очевидностью следовало, что нужно делать дальше. Ген Sonic hedgehog работает точно там же, где работает сама ЗПА. Вспомним, что если обработать конечность ретиноевой кислотой (витамином А), то еще одна ЗПА вступает в действие на противоположном конце конечности. Нетрудно угадать, что будет, если обработать конечность ретиноевой кислотой и после этого посмотреть, где будет действовать Sonic hedgehog. Как и следовало ожидать,

после обработки ретиноевой кислотой этот ген активен на обеих сторонах конечности – мизинца и большого пальца, – точно так же, как и ЗПА.

Зная строение куриного гена Sonic hedgehog, другие исследователи занялись поиском этого гена у других живых существ, наделенных пальцами, от лягушек до людей. Оказалось, что у всех позвоночных с четырьмя конечностями есть Sonic hedgehog. И у всех исследованных к настоящему времени животных этот ген активен в ткани ЗПА. Если Sonic hedgehog не включается как следует в течение восьмой недели развития, у эмбриона или формируются лишние пальцы, или большой палец и мизинец оказываются похожи. В некоторых случаях, когда этот ген поврежден, формируется рука, похожая на широкое весло, аж с двенадцатью похожими пальцами.

Сегодня известно, что Sonic hedgehog представляет собой один из десятков генов, работа которых позволяет формировать наши конечности от плеча или бедра и до кончиков пальцев за счет их последовательного включения и выключения в определенное время. Примечательно, что работы, проведенные на курицах, лягушках и мышах, дали одинаковые результаты. Записанный на ДНК рецепт формирования плеча, предплечья, запястья и пальцев по сути один и тот же у всех наземных позвоночных.

Как далеко в прошлое можем мы проследить историю гена Sonic hedgehog и других фрагментов ДНК, которые управляют развитием наших конечностей? Работают ли те же гены при формировании рыбьих плавников? Или наши руки и ноги принципиально отличаются генетически от плавников рыб? Мы нашли черты рыбы в строении наших рук и ног. Но как насчет ДНК, управляющей их развитием?

Здесь и вступил в дело Рэнди Дан со своими “русалочьими кошельками”.

Дадим акуле руку

Рэнди Дан пришел в мою лабораторию с простой, но довольно изящной идеей: обработать эмбрионы скатов так же, как Клифф Тейбин обрабатывал куриные яйца. Замысел Рэнди состоял в том, чтобы провести на скатах все эксперименты, проведенные на куриных яйцах учеными, изучавшими развитие кур, от

хирургических операций на тканях Сондерса и Цвиллинга до генетических экспериментов Клиффа Тейбина. Развитие зародыша ската проходит внутри яйца, покрытого своеобразной скорлупой и содержащего запас желтка. К тому же эмбрионы у скатов довольно крупные, сравнимые по размеру с эмбрионами курицы. Все эти свойства были очень кстати – они позволяли нам изучать эмбрионы скатов, пользуясь генетическими, хирургическими и другими методами, разработанными для изучения куриных эмбрионов.

Что мы могли бы узнать, сравнивая развитие плавника ската или акулы с развитием крыла или ноги цыпленка? И, что еще важнее, что могли бы мы узнать о себе самих из такого сравнения?

Конечности цыплят, как показали Сондерс, Цвиллинг и Тейбин, представляют собой на удивление хорошую модель для изучения развития наших собственных конечностей. Все, что открыли Сондерс и Цвиллинг, вырезая и вживляя кусочки ткани, и все, что установили Тейбин и его коллеги в своих опытах с ДНК, с тем же успехом относится и к нашим конечностям. У нас тоже есть ЗПА, тоже есть Sonic hedgehog, и для нашего нормального развития они играют ту же ключевую роль. Как мы уже убедились, неправильно работающая ЗПА или мутация в гене Sonic hedgehog могут привести к серьезным деформациям конечностей, причем и у человека тоже.

Рэнди хотел узнать, насколько механизм формирования наших конечностей отличается от такого механизма у акул и скатов. Насколько глубока наша связь с остальными живыми существами? Новый ли рецепт обеспечивает правильное формирование наших рук, или он имеет глубокие корни в других существах? И если имеет, то насколько глубокие?

Акулы и их родственники – самые древние существа, у которых плавники имеют скелетную основу. В идеале, чтобы ответить на вопрос Рэнди, надо было бы добыть ископаемую акулу возрастом 400 миллионов лет, привезти ее в лабораторию, разрезать на кусочки и посмотреть на ее гены. Затем надо было бы поэкспериментировать с эмбрионами ископаемого, чтобы узнать, работает ли в зачатках их плавников ген Sonic hedgehog и включается ли он там же, где он включается в зачатках наших конечностей. Это был бы чудесный эксперимент, но, к сожалению, провести его невозможно. Из таких древних ископаемых уже нельзя извлечь ДНК, а если бы и можно было, все равно нам не удалось бы заполучить эмбрионы этих ископаемых, чтобы проводить на них наши опыты.

Поэтому мы обращаемся к следующему по качеству объекту – современным акулам и их родственникам. Плавник акулы никто не перепутает с человеческой рукой – сложно представить себе две более непохожих конечности. Не только сами акулы состоят с человеком в довольно далеком родстве, но и скелетная основа их плавников совсем не похожа на скелет наших конечностей. В плавниках акулы нельзя найти ничего, даже отдаленно напоминающего оуэновское “кость – две кости – много косточек – пальцы”. Вместо этого внутри акульего плавника находятся кости, похожие на прутья: длинные и короткие, широкие и узкие. Мы их называем костями, но на самом деле они состоят из хрящевой ткани (акул и скатов именуют хрящевыми рыбами, потому что их скелеты никогда не затвердевают до состояния настоящих костей). Если уж мы решили выяснить, уникальны ли функции гена Sonic hedgehog для наземных позвоночных, то почему бы не посмотреть на животное, во многих отношениях совсем другое? Кроме того, почему бы не выбрать представителя самых примитивных из современных позвоночных, у которых вообще имеются парные конечности? Акулы прекрасно подойдут и для того и для другого.

Наша первая задача была довольно проста. Нам нужен был надежный источник эмбрионов акул и скатов. Оказалось довольно сложно найти способ регулярно получать яйца акул, но со скатами, их близкими родственниками, дела обстояли лучше. В итоге мы начали наши эксперименты с акул и перешли на скатов, когда запасы акул иссякли. Мы нашли поставщика, который примерно раз в пару месяцев присылал нам контейнер с двадцатью-тридцатью яйцами с эмбрионами внутри. У нас, как у туземцев-островитян, выработался настоящий карго-культ, когда мы каждый месяц с нетерпением ожидали прибытия драгоценных эмбрионов.

Результаты, полученные Тейбином и другими генетиками, помогли Рэнди правильно спланировать эксперименты. Со времени работы Тейбина 1993 года ген Sonic hedgehog был найден уже у очень многих видов позвоночных, от рыб до людей. Зная строение гена Sonic hedgehog, Рэнди мог “просмотреть” ДНК ската и акулы в поисках этого гена. Очень скоро он нашел его – акулий Sonic hedgehog.

Теперь нужно было ответить на следующие два главных вопроса. Где в эмбрионе акулы работает Sonic hedgehog? И, что еще важнее, что именно он делает?

Работая с яйцами скатов, Рэнди установил, где и когда включается Sonic hedgehog в ходе развития их эмбрионов. Вначале он выяснил, когда происходит включение этого гена – на том же этапе развития конечности, что у цыпленка, или нет. Оказалось, что на том же. Затем он выяснил, включается ли этот ген на участке ткани на заднем краю плавника, который соответствует нашей стороне мизинца. И снова оказалось, что именно там. Затем он провел эксперименты с витамином А. Это был самый захватывающий этап. Если обработать зачаток конечности цыпленка или млекопитающего этим соединением, то на стороне большого пальца появится еще один участок, на котором работает ген Sonic hedgehog, и это приведет к удвоению костей конечности. Рэнди ввел витамин А в эмбрионы, подождал около суток и затем проверил, вызывает ли витамин А у зародышей скатов, как и у зародышей курицы, включение гена Sonic hedgehog на противоположной стороне конечности. Оказалось, что вызывает. Теперь нам предстояло долго ждать. Мы уже узнали, что Sonic hedgehog в зачатках плавников акул и скатов вел себя так же, как в зачатках наших рук и куриных крыльев. Но какое действие окажет все это на формирование скелета? Ответа пришлось ждать два месяца.

Эмбрионы развивались внутри непрозрачной оболочки яиц. Все, что мы могли узнать, – жив ли эмбрион. То, что находится внутри его плавников, увидеть было нельзя.

Полученный в итоге результат явил нам поразительный пример свойства, которое объединяет нас с акулами и скатами: зеркально отраженный плавник. Внутренние структуры грудных плавников удвоились в направлении голова-хвост точно так же, как удваиваются в таких экспериментах крылья цыпленка. Структуры крыла удваиваются, отражая друг друга. Структуры плавника акул, а также и скатов делают ровно то же самое. Ген Sonic hedgehog действует сходным образом при формировании скелетной основы самых разнообразных конечностей.

Как вы, возможно, помните, один из эффектов гена Sonic hedgehog состоит в том, что он делает пальцы одной конечности разными, отличными друг от друга. Как мы видели на примере опытов с ЗПА, какой именно палец разовьется, зависит от его близости к месту, где работает Sonic hedgehog. Нормальный плавник взрослого ската содержит множество напоминающих прутья скелетных элементов, похожих друг на друга. Можем ли мы сделать так, чтобы эти прутья были разными, как наши пальцы? Рэнди взял небольшой шарик, пропитанный белком, производимым геном Sonic hedgehog,

Конец ознакомительного фрагмента.

notes

Примечания

1

Диаметр монеты в четверть доллара – около 2,5 см. – Примеч. перев.

Купить: https://tellnovel.com/ru/shubin_nil/vnutrennyaya-ryba-istoriya-chelovecheskogo-tela-s-drevneyshih-vremen-do-nashih-dney

Текст предоставлен ООО «ИТ»
Прочитайте эту книгу целиком, купив полную легальную версию: Купить