

7 МИЛЛИОНОВ ЛЕТ НАЗАД

РАСХОЖДЕНИЕ С ШИМПАНЗЕ

Демократическая Республика Конго. В 25 километрах от ее столицы, Киншасы, среди тропического дождевого леса расположилось несколько каменных зданий — мирное пристанище для наших родственников. Приют *Lola ya bonobo* («Рай для бонобо») — единственное место в мире, где заботятся об осиротевших бонобо, жертвах незаконной торговли экзотическим мясом. Приматы живут более или менее свободно в обширном заповеднике, окружающем лагерь, где растут деревья с досковидными корнями. Детеныши бонобо неспособны прокормиться самостоятельно, и конголезские «няни» кормят их из бутылочки с соской.

Когда смотришь, как эти малыши, насытившись, верещат на руках у приемных матерей и ссорятся друг с дружкой, кажется, что ты попал в детский сад. Детеныши бонобо ведут себя точь-в-точь как человеческие дети — сходство просто потрясающее! Но когда жил наш общий с бонобо предок? Может ли ДНК подсказать, когда линия людей разошлась с линией больших человекообразных обезьян? Иначе говоря, помогает ли генетика понять, когда началась человеческая история?

Наблюдая за человекообразными обезьянами, невозможно не заметить, что мы состоим с ними в близком родстве. Однако нам понадобились Чарльз Дарвин и его теория эволюции, чтобы в это поверить. На самом деле человек принадлежит к отряду приматов, точнее — к парвотряду обезьян Старого Света (*гоминиды* на жаргоне палеонтологов): наши

ближайшие родственники — шимпанзе и бонобо, чуть более дальние — гориллы, затем — орангутаны. Мы не произошли от больших обезьян — мы с ними в родстве. Итак, наши ближайшие родственники — группа, в которую входят шимпанзе и бонобо. И наоборот: ближайший родственник группы шимпанзе и бонобо — человек, а значит, и шимпанзе ближе к человеку, чем к горилле.

Точное понимание этих родственных связей дает нам генетика. С начала 2000-х годов наука заметно продвинулась вперед: секвенирование генома (то есть чтение ДНК) нашего вида, затем — шимпанзе, бонобо, гориллы, а потом и орангутана позволило сравнить и уточнить генеалогию каждого. И все это — благодаря четырем буквам: *A*, *C*, *T* и *G*. Эти буквы (первые буквы названий молекул аденина, цитозина, тимина и гуанина, представляющих собой бусины в четках ДНК) составляют алфавит, на котором записывается геном всего живого на Земле. У всех один и тот же молекулярный механизм, одни и те же буквы — у нарцисса, у водоросли, у птицы. Отчего такая универсальность? Оттого, что все формы жизни на Земле — потомки молекулы, появившейся примерно 3,5 миллиарда лет назад. Мы все унаследовали от нее один генетический механизм, который позволяет прочесть всю информацию, содержащуюся в ДНК.

Генетический код универсален, но порядок, в котором выстроены буквы, определяет уникальную запись генома того или иного вида. Например, ДНК человека — это ряд из трех миллиардов нуклеотидов (так называют молекулы *A*, *C*, *T* и *G*), что равносильно тексту, занимающему 750 тысяч страниц, или 750 томам изданий «Плеяды»! Только в 2001 году биологи сумели до конца прочесть последовательность букв, составляющих этот длинный роман.

Наш родственник на 98,8%

Благодаря этой работе и другим исследованиям, посвященным человекообразным обезьянам, ученые сумели дать

количественную оценку нашим родственным связям. Это сравнение крайне важно: чем ближе друг к другу два вида в огромной генеалогии живого мира, тем более схожи между собой последовательности оснований их ДНК. К каким же выводам пришли ученые? Наша ДНК совпадает с ДНК шимпанзе на 98,8%. Иными словами, мы отличаемся от шимпанзе лишь на 1,2% нашего генома!

Это одновременно и много, и мало. Человеческая ДНК состоит из трех миллиардов пар нуклеотидов, и 1,2% — это 35 миллионов различий, образовавшихся постепенно и случайно. Генетическое расхождение, вызывающее различия между двумя видами, всегда начинается с мутации, затрагивающей нуклеотид: то есть буква А превращается в Т, или происходит любая другая комбинация. Затем эта мутация проходит через фильтр естественного отбора. Если она слишком сильно повреждает клеточные механизмы, то особи, несущие в себе эту мутацию, погибают или не размножаются; но если мутация дает особи какое-то преимущество, она получает возможность передаться следующим поколениям и в каждом новом поколении будет встречаться все чаще. Замечу, что большинство мутаций нельзя назвать благоприятными или неблагоприятными: они нейтральны, поскольку лишь незначительная часть нашей ДНК транслируется в протеины. Мутации сохраняются из поколения в поколение или случайным образом медленно исчезают.

Помимо 1,2% различий, при сравнении ДНК человека и шимпанзе можно заметить еще кое-что важное: отдельные части генома, имеющиеся у одного вида, отсутствуют у другого. Биологи называют добавление фрагмента ДНК *инсерцией*, а его утрату — *делецией*. Такие различия в цепочке ДНК встречаются реже, чем мутации, но, поскольку они затрагивают длинные последовательности нуклеотидов (основных молекул двойной спирали), пропорционально их доля в геноме больше. Так что 500 тысяч инсерций и делеций соответствуют нашим отличиям от шимпанзе на 90 миллионов нуклеотидов.

Ученые сравнили не только ДНК человека и шимпанзе, но и геномы двух больших человекообразных обезьян одного вида. И получили удивительный результат, связанный с географическим распределением видов. Возьмите карту мира и нанесите на нее места обитания популяций больших обезьян: главное различие между нами и нашими сородичами сразу бросится в глаза. Если представители вида *Homo sapiens* расселились по всей планете, то наши ближайшие родственники — шимпанзе, бонобо и гориллы — живут лишь в некоторых регионах Центральной Африки. А чуть более дальний наш родственник, орангутан, не покидает тропики Юго-Восточной Азии.

Хотя наш вид распространен повсеместно, именно у него самый низкий уровень генетического разнообразия: мы все одинаковы на 99,9%. Если сравнить буква за буквой ДНК двух любых живущих на планете людей, то в среднем один человек будет отличаться от другого на одну букву из тысячи. По сравнению с большими обезьянами это мало: у двух шимпанзе из Центральной Африки примерно в два раза больше генетических различий, чем у любых двух человек. Что же касается орангутанов с острова Борнео, между ними генетических различий втрое больше, чем между людьми.

Эта генетическая однородность — следствие нашей демографической истории. Действительно, на протяжении большей части периода эволюции нашего вида его численность была невелика по сравнению с другими приматами. Генетические данные указывают на то, что в промежутке от миллиона до 100 тысяч лет назад шимпанзе и бонобо насчитывалось намного больше, чем людей. Не удивительно ли это, учитывая, что сегодня нас больше 7 миллиардов и мы оккупировали все экосистемы на Земле?

Главное разделение

Итак, нас отделяют от шимпанзе (и от бонобо, считающегося одним из двух видов шимпанзе) тонкие, как папиросная

бумага, генетические различия. Причина одна: в относительно недавнем прошлом мы с шимпанзе составляли единое целое. Но когда же мы расстались? Когда линия людей разошлась с той, от которой произошли шимпанзе? Генетика ответила на этот вопрос после настоящего научного сериала. Чтобы понять первый неожиданный поворот его сюжета, нам нужно разобраться с методом, который использовали биологи: знаменитыми молекулярными часами. Принцип их действия прост: чем больше времени проходит с момента существования общего предка двух линий, тем больше накапливается мутаций и тем больше особенностей формируется у каждой из линий. Определив коэффициент мутации за единицу времени и предположив, что он остается постоянным, можно дойти до точки расхождения двух линий.

Основываясь на этом принципе, биологи поначалу решили, что люди и орангутаны разошлись по меньшей мере 13–15 миллионов лет назад, а люди и шимпанзе — 5 или 6 миллионов лет назад. Это невозможно, тотчас возразили антропологи: такая датировка противоречила их данным. Возраст оррорина, одного из первых представителей человеческого рода, открытого Брижитт Сеню и Мартином Пикфордом, — примерно 6 миллионов лет; другая претендентка на роль «самого древнего человека» (пусть даже спорная) — Тумай, череп которой был найден Мишелем Брюне, — жила около 7 миллионов лет назад.

С появлением высокоэффективных методов секвенирования ученым пришлось пересмотреть скорость хода молекулярных часов. Сравнивая ДНК детей с ДНК их отца и матери, можно напрямую подсчитать количество новых мутаций, появляющихся в каждом поколении. У каждой особи примерно 70 новых мутаций (от 20 до 40 по сравнению с материнской ДНК и от 20 до 40 по сравнению с отцовской). Впрочем, число это очень непостоянное, и иногда количество мутаций доходит до 100. Оно зависит от возраста отца в момент рождения ребенка. Чем старше отец, тем больше мутаций, тогда как возраст матери на их число почти не влияет.

Таким образом, у детей немолодого отца количество мутаций больше, чем у детей молодого отца. Не может ли это быть одним из объяснений аутизма? Поскольку риск аутизма у ребенка повышается с возрастом отца, исследователи поддались соблазну усмотреть здесь связь: аутизм может быть следствием роста числа новых мутаций, передаваемых отцом, с увеличением его возраста. Но эта гипотеза обходит стороной важный факт: доля генома, на который могла бы воздействовать мутация, на самом деле незначительна. С теми или иными функциями организма связано менее 5% генома. Так что вероятность влияния на них этих мутаций очень мала. В итоге эта версия происхождения аутизма была отвергнута.

На основе среднего числа мутаций в поколении были смоделированы новые молекулярные часы. И оказалось, что они вдвое медленнее, чем прежние! По ним для накопления определенного числа генетических различий времени требуется вдвое больше, чем по старым. Иначе говоря, все датировки нужно умножать на два. Так, разделение людей и шимпанзе должно было произойти 10 миллионов лет назад, а разделение людей и орангутанов — более 20 миллионов лет назад. Но это слишком рано по сравнению с данными ископаемых останков. Что за чертовщина? Есть ли возможность как-то примирить генетику и палеоантропологию?

Ответ — да. Ученым пришлось договориться между собой, для начала ответив на вопрос, можно ли вообще соотносить генетические данные с датировками ископаемых останков. По сути, генетические данные нужны для того, чтобы определить момент, после которого два вида полностью перестали скрещиваться между собой. Палеоантропологи же пытаются найти самое древнее ископаемое существо, которое можно отнести к человеческой линии: для этого существу (примату) достаточно оказаться двуногим. Расхождение двух видов (видообразование) не обязательно должно было произойти мгновенно. Скрещивания между двумя зарождавшимися видами могли продолжаться довольно долго. Но ископаемые останки не дают информации об этих

возможных скрещиваниях. Например, ничто не позволяет выяснить, могли ли особи того вида, к которому принадлежал оррорин, скрещиваться с предками шимпанзе. Если это действительно происходило, данные анализа ископаемых останков неминуемо будут указывать на более ранний период, чем генетические данные.

При этом коэффициенты мутаций, необходимые для расчета времени расхождения видов, по сей день остаются удивительно неточными: их значения колеблются от однозначных до двузначных чисел! В настоящее время рассматривается несколько гипотез, помогающих сделать поправки и увязать данные между собой: расчеты, производимые на основе неполных данных о семействах, не позволяют выявить все мутации и приводят к их недооценке, давая слишком медленные молекулярные часы; молекулярные часы идут не с постоянной скоростью: порой они ускоряются — в частности, у людей их скорость зависит от репродуктивного возраста, который менялся в ходе эволюции приматов; наконец, скорость мутаций может варьироваться в разных частях генома и оставаться постоянной лишь для определенных его участков.

Биологи уже проверили последнюю гипотезу. Исходя из того, что коэффициент мутаций внутри ДНК менялся, они уточнили расчеты времени расхождения людей и шимпанзе и получили результат: от 7 до 8 миллионов лет назад. Такая датировка куда лучше согласуется с данными анализа ископаемых останков.

Не такие уж дальние родственники...

Итак, около 7 миллионов лет минуло с тех пор, как мы были едины с шимпанзе и бонобо. За это время человечество успело превратиться в *Homo sapiens* — правда, исследователи человекообразных обезьян неустанно подвергают сомнению разделяющую нас пропасть. Шимпанзе, как и мы, используют орудия, собираются в группы для защиты своей территории от непрошенных гостей и способны вырабатывать страте-

гии союзничества в политических целях. У человекообразных обезьян существуют свои традиции и даже культуры, они общаются между собой и объединяются для решения общих задач — охоты или защиты территории...

Все эти открытия указывают на несостоятельность пресловутых определений «собственно человеческого», которые веками пытались сформулировать философы. И все же некоторые наши особенности явно свойственны только нам, людям: например, полный бипедализм (хождение на двух ногах), большой мозг и сложный язык. Почему у людей, когда они эволюционно разошлись с шимпанзе, сформировались все эти особенности? Поможет ли генетика осмыслить эволюционную историю человечества?

Сейчас существует две основные гипотезы, объясняющие, почему наш вид обзавелся большим головным мозгом: гипотеза социального мозга и гипотеза экологического мозга. Согласно гипотезе экологического мозга, движущей силой эволюции к более крупному мозгу была необходимость находить пищу на большой территории в непредсказуемых условиях. Действительно, среди приматов и среди млекопитающих в целом у плодоядных животных, которым для пропитания приходится искать спелые плоды, мозг по своей структуре отличается от мозга тех животных, которые едят исключительно листья. А тем, кто, подобно нам, питается еще и мясом, нужен особенно развитый мозг.

Согласно гипотезе социального мозга, изменения мозга, в том числе увеличение его размера, были связаны с жизнью в больших группах с разнообразными социальными связями. Такая социальная сложность порождала давление естественного отбора, заставлявшее мозг формировать больше нейронных связей, в том числе на уровне мозжечка, объем которого постоянно увеличивался на протяжении всей человеческой эволюции. Конечно, эти гипотезы не являются взаимоисключающими. Чтобы есть мясо, нужно охотиться или разыскивать падаль. А когда члены популяции занимаются тем и другим сообща, популяция несомненно получает преимущество.

Кроме того, высказывалось предположение, что увеличение объема мозга было связано с освоением огня: от приготовленного на огне мяса организм получает больше калорий, чем от сырого. Мозг поглощает много энергии, и увеличение его размера вполне могло произойти благодаря освоению огня. Однако эта гипотеза плохо согласуется с тем фактом, что люди стали регулярно использовать огонь лишь около 400 тысяч лет назад, тогда как их мозг начал заметно расти еще 1,7 миллиона лет назад.

Может быть, до нас просто не дошли свидетельства более раннего использования огня? Специалисты по истории первобытного общества скептически относятся к такому предположению. В то же время есть множество подтверждений тому, что древние люди занимались кулинарией, то есть обрабатывали продукты перед употреблением в пищу. Они использовали орудия для измельчения мяса и клубней, что позволяло извлечь из них больше калорий: доказано, что приготовленная таким образом пища дает человеку значительно больше калорий на грамм, чем не подвергнутые обработке продукты.

Драма двуногих

Как бы то ни было, ясно одно: человеческий мозг увеличивался в размере на протяжении всей истории (по сравнению с мозгом австралопитека он вырос втрое). Это оказало колоссальное влияние на нашу эволюцию. Постоянный бипедализм, приобретенный более 3 миллионов лет назад еще австралопитеками, привел, среди прочего, к изменениям в строении таза, который оказался в некоторой степени зажат. Вместе с тем размеры черепа продолжали расти, что делало роды все более сложными. Это явление называют акушерским парадоксом. Роды у человека проходят опаснее и тяжелее, чем у человекообразных обезьян. В частности, это третья по частоте причина женской смертности в регионах с низким качеством здравоохранения. Именно поэтому во всех челове-

ских обществах женщины рожают с посторонней помощью. Как справедливо отмечает один из моих коллег, самая древняя профессия в мире — акушерство.

Однако эволюция все же нашла способ облегчить женщинам роды: человеческие младенцы рождаются недоразвитыми по сравнению с детенышами других приматов. Объем мозга новорожденного ребенка составляет лишь 23% от объема мозга взрослого человека (у новорожденных шимпанзе — 40% от объема мозга взрослого шимпанзе). И эта незрелость длится очень долго: с биологической точки зрения мы взрослеем лишь к 15 годам!

Столь продолжительный ювенильный период — наше третье серьезное отличие от других крупных приматов. Благодаря ему дети вынужденно взаимодействуют с группой себе подобных и развиваются в сложной системе социальных отношений. К тому же с момента рождения мы уже распознаем человеческие лица; мы — социальные животные. Новорожденный зависит от других людей, без них ему не выжить; более того, человеческие младенцы, в отличие от детенышей других приматов, зависят не только от своей матери. Когда мать ребенка умирает, его шансы на выживание, конечно, снижаются, но если осиротевший шимпанзе в этом случае долго не протянет, то о человеческом детеныше, скорее всего, позаботятся другие члены племени или общества. У шимпанзе случаи усыновления редки...

Кроме того, незрелость человеческих детенышей сказывается на возрастной пирамиде внутри групп. В стае шимпанзе у каждой самки, как правило, всего один или, в редких случаях, два детеныша младше пяти лет (шимпанзе старше пяти лет уже могут прокормиться сами). Обычно самка обзаводится новым потомством лишь после того, как ее предыдущий детеныш становится самостоятельным, то есть каждые четыре-пять лет. В человеческих семьях, напротив, у одной матери зачастую бывает несколько разновозрастных детей: ведь должно пройти не меньше пятнадцати лет, прежде чем младший ребенок сможет сам себя прокормить.