

ЗЕРКАЛО ДЛЯ МОЗГА

Биология разума займет главное место в науке XXI века

По материалам беседы с доктором медицинских наук, членом-корреспондентом РАН, руководителем отдела системогенеза НИИ нормальной физиологии профессором Константином Анохиным и профессором Санкт-Петербургского государственного университета, доктором филологических и биологических наук, руководителем лаборатории когнитивных исследований, нейролингвистом Татьяной Черниговской

Почему мы обладаем мозгом, который выделяет нас из ряда всех животных? Как выглядят происхождение и эволюция разума человека в свете новейших открытий в этой области? Чем объясняется разрыв, который существует между нами и нашими «меньшими братьями», с точки зрения современной эволюционной теории?

Где работают гены

В 2003 г. один из основателей *Microsoft* Пол Аллен, известный также как один из крупнейших меценатов, обратился к ученым с вопросом: «Что при наличии финансовой поддержки могла бы сделать сегодня наука, чтобы разобратся, как работает мозг?» У него были очень серьезные консультанты — лауреаты Нобелевских премий, люди, которые стояли у основания современной молекулярной биологии. И они сказали, что главное сейчас — понять, как гены «делают» мозг, т.е. соединить исследования генома и изучение мозга и выяснить, сколько генов и какие работают в мозге, в каких участках и как это происходит. Иначе говоря, как генетически устроен мозг, — не только самый сложный орган у человека, но и самый неразгаданный объект во Вселенной.

Аллен выделил \$100 млн на то, чтобы сделать эту задачу доступной. Был создан Алленовский институт мозга в Сиэтле, его родном городе, откуда, кстати, родом и Билл Гейтс. Институт начал работать, и в январе текущего года в журнале *Nature* была опубликована большая статья по итогам этого чрезвычайно эффективного проекта. Буквально за три-четыре года удалось прокартировать все гены мыши и опре-

делить, какие из них работают в мозге. Был получен потрясающе важный результат: оказалось, что в геноме мыши, а соответственно, в геноме человека (цифры не будут сильно отличаться), более 80% всех генов работают именно на мозг. Для сравнения: в других органах это единицы процентов. То есть, в нашем геноме каждые восемь из десяти генов работают для мозга. Это результат накопления гигантских усилий генома в эволюции по созданию мозга.

Сейчас та же группа ученых из Алленовского института работает над расшифровкой полной карты экспрессии генов в коре головного мозга человека. Зная, что геномы мыши и человека совпадают более чем на 90%, нетрудно предсказать общий итог этой работы. Однако наверняка она откроет и много неожиданных фактов, важных для понимания эволюции нашего мозга и сознания.

Если бы мы оценивали эволюцию как множество маленьких эпизодов, каждый из которых закрепляет через естественный отбор работу какого-то гена для каких-то функций в организме, то оказалось бы, что генетическая эволюция была в значительной степени направлена на создание и поддержание функций нервной системы по сравнению с другими органами.

Возникает очень сложный вопрос: какие из этого множества генов, работающих в мозге, отвечают за нашу с вами эволюцию? Может ли это быть объяснено одним уникальным геном, который и вызвал некий эволюционный взрыв?

Например, согласно гипотезе известного американского нейроанатома и нейробиолога Пашко Ракича, в основе возникновения человеческого мозга, который особенно отличается от мозга других приматов

развитием лобных разделов, связанных с интеллектом, мог лежать простой случайный мутационный скачок. Он привел к тому, что один из генов, связанный с клеточным циклом развития нейронов коры головного мозга, претерпел небольшие изменения, и циклов деления стало больше. В коре головного мозга такого мутанта образовалось гораздо больше клеток, чем у сородичей. Это значит, что и функции, выполняемые этой областью мозга, будут поддерживаться большим количеством клеток, возникнет больше связей, больше интеллектуальных резервов. Если мутация произошла в лобной доле, то у ее носителя появится масса новых возможностей к предвидению ситуации.

А дальше поведение и отбор подсказали, как использовать эти клетки. Обратите внимание, что подобного мутанта эволюция ни к чему пока не готовила. Он просто оказался в ситуации, когда у него при тех же проблемах, что и у сородичей, есть больший ресурс числа нейронов и возможных вычислений в данной области мозга. Если это даст ему преимущества, и его ген получит распространение в популяции, то будут рождаться животные с таким же большим объемом лобных отделов мозга. Тогда внутри новой разросшейся области будут постепенно получать преимущества те мелкие мутации, которые готовят ее к врожденной специализации в решении определенной проблемы. Это гипотеза одного гена, который изменил все. Но, возможно, все было и не так.

Животное – человек: где граница?

Прежде всего, мы должны определить для себя, что именно является в человеке таким уникальным, и сделать

это можно в двух аспектах. Первый — морфологический, или анатомический. Если рассуждать с данной точки зрения, то ответ будет таков: наш мозг в три раза больше, чем у наших ближайших биологических родственников — шимпанзе, кора состоит из слоев, она очень сложно организована и т.д. Но если рассуждать с точки зрения не просто анатомии, а функций мозга, то окажется, что человека отличает от животных в первую очередь язык. Еще — способность к вычислениям разного рода, например к тем, которые позволяют прогнозировать поведение, адекватно оценивать социум, правильно имитировать и создавать что-то новое, строить модель сознания другого человека. Для этого нужен очень сложный мозг.

Дело именно в этой, во второй части — в функциях. Однако какие из них являются сугубо человеческими, определить очень трудно. По мере изучения организации мозга

Далее, у животных, особенно высокого ранга, существует чрезвычайно многоуровневый социум; даже у муравьев мы видим невероятно сложно организованные сообщества. Что же говорить об обезьянах, которых оказалось возможным обучить человеческому языку? Например, их синтаксические способности примерно таковы, как у детей двух с половиной лет. И это серьезно меняет представление о нашем положении на планете: ведь еще недавно считалось, что приматам такое недоступно, что для этого нужен именно мозг человека. Даже врановые, у которых мозг устроен гораздо менее сложно, умеют очень многое, что дает основание говорить о наличии разума. Певчие и «говорящие» птицы способны к тонкой и точной имитации, которая, кстати, считается одним из главных «человеческих» качеств, — по крайней мере, ею человек обладает в гораздо большей степени, чем все остальные представители животного мира.

механизмы, обеспечивающие возможность каждому человеку овладеть своим первым языком за такое короткое время, то потребовалось бы много десятков лет! Отсюда предположение, к которому склоняется большое число ученых, — о том, что надо искать ген, определяющий способность к языку.

И вот несколько лет назад действительно был открыт известный ген *FOXP2*, поломка которого была обнаружена в семьях, испытывающих трудности с речью в нескольких поколениях. Однако этот ген не является «геном языка». Практически каждый месяц мы читаем об открытии новых генов: то «ген памяти», то «ген глухости», то «ген чтения», то «ген пения» и т.д. Вопрос не в том, что эти гены не обнаруживают, а в том, что открытия неправильно интерпретируются. И вот, возвращаясь к вопросу о человеческой уникальности, мы прежде всего должны ответить на вопрос — есть ли этот «провал» между нами и нашими биологическими родственниками, или его нет. Провал, который дает основание говорить, что произошла некая мутация, изменившая мозг настолько, что он стал способен к языку, другим очень сложным алгоритмам, а на самом деле приведшая к гораздо более сложной организации.

Предположение, к которому склоняется большое число ученых, — надо искать ген, определяющий способность к языку

и способностей животных этот «набор» тает с каждым годом. Например, в серьезных учебниках написано, что человеческий язык — это иерархически организованная система, т.е. есть фонемы — атомы или кирпичики, и их в каждом из языков твердое число. Они вкладываются в морфемы, морфемы вкладываются — в слова, слова — в фразы, фразы — в дискурс... И якобы (всегда так говорилось) ничего подобного в коммуникационных сигналах других биологических видов мы не наблюдаем. Скажем, большинство ученых утверждают, что никто, кроме человека, не способен мыслить такого рода алгоритмами, как рекурсивные правила. А как же птицы, которые осуществляют весьма «продвинутую» навигацию? Они ведь должны просчитывать и ориентироваться в очень сложном пространстве.

Можно привести еще много примеров, говорящих о том, что остается все меньше и меньше специфически человеческих черт, за которые мы можем держаться, и которые, возможно, появились в результате предполагаемой мутации, этого «большого скачка» от наших биологических предков к человеку.

Второе, о чем всегда говорят: человеческий язык обладает свойством продуктивности. Имеется в виду использование рекурсивных, или символических правил: мы можем кодировать и декодировать бесконечное количество сообщений, построенных по определенным алгоритмам, которые вырабатываются в нашем мозгу в качестве своеобразного «виртуального учебника» первого родного языка. И все это доступно маленькому ребенку! Если бы не некие врожденные

Эволюция разума

Итак, мы должны рассмотреть сценарий того, каким образом мог возникнуть мозг, давший человеку тот разум, которым мы обладаем. И здесь существуют две серьезные альтернативы. Первая — это произошло в результате серии генетических изменений, приведших к новым модификациям, которые могли оказаться «взрывными». Это серия мутаций, процесс. Мы все говорим о некоем толчке, когда могло произойти что-то одно, изменившее свойство мозга, нервной системы, и оказавшееся эволюционно адаптивным. Однако впоследствии на эту «взрывную мутацию» могли наслаиваться многие изменения, и то, что мы видим сегодня, уже не та одна мутация, которую мы, мо-

жет быть, могли бы найти, а тысячи, которые выстроились вдоль нее.

Это сценарий номер один, и он рассматривается весьма серьезно.

Но есть и другой, согласно которому все началось с неких модификаций адаптивности, пластичности мозга, который, попадая в несколько иную эволюционную нишу, начинал реализовывать новые возможности. Если это происходило в измененных условиях в ряду поколений, то могли начать накапливаться генетические вариации, делающие развитие в данном направлении все более и более легким. Накапливаясь, подобные вариации и привели к формированию человеческого мозга в его нынешнем виде. Такой сценарий исключает наличие начального «ключевого гена», вызвавшего толчок.

Если первый сценарий мы можем назвать «генетическим», поскольку в начале процесса лежат генетические изменения, то второй — эпигенетический. Кстати, именно его многие генетики и эволюционисты все больше и больше начинают рассматривать в качестве сценария эволюции. Эти теории одним из первых в мире развил замечательный русский эволюционист И.И. Шмальгаузен, который говорил, что эволюция начинается вовсе не с изменений генотипа, а наоборот, — это изменение фенотипа, которое постепенно фиксируется, оформляется в изменение генотипа.

Что же говорят экспериментальные данные по поводу данных двух сценариев? В августе позапрошлого года были опубликованы результаты исследования, которое заключалось в сравнении геномов человека и шимпанзе. Ученые пытались найти участки ДНК, где за 5 млн лет произошли сильные изменения, которые и отделяют нас от шимпанзе. И таких участков, где темпы изменений были существенно выше, чем в среднем по геному, оказалось 49. Причем, на некоторых из них изменения происходили в 70 раз быстрее, чем в среднем по геному!

Участки разбросаны по всему геному, и дальше встал вопрос: какие



функции они выполняют? В результате детальных исследований выделили ген, который претерпел наиболее значительные изменения. Это ген *HARI*, кодирующий небольшую участку, маленькую РНК, но в нем содержалось 118 (!) различий между человеком и шимпанзе. А между, например, шимпанзе и птицами (цыпленком) расхождений оказалось всего два.

Ген этот существует давно. Он есть у птиц, у млекопитающих, но именно на пути от шимпанзе к человеку в нем произошло больше всего изменений.

Дальше специалисты задались вопросом: а каковы функции данного гена? И оказалось, что это ген, который работает в коре головного мозга с седьмой по девятнадцатую неделю развития зародыша, когда закладываются верхние слои коры головного мозга, определяющие горизонтальные связи. Всегда считалось, что это наиболее поздно возникшие эволюционные слои, которые сильно отличают кору головного мозга человека от мозга других приматов. Оказалось, что этот ген каким-то образом (пока до конца не понятно, каким) связан с регуляцией работы других генов. Он коди-

рует короткую регуляторную молекулу РНК, которая может регулировать работу других.

Итак, сегодня уже доказано, что существуют участки, отличающие геном человека от генома шимпанзе по самым высоким темпам эволюции. И самым быстрым в эволюционирующих структурах оказался участок, который связан с работой гена в коре головного мозга (а не просто в мозге) и с развитием этого мозга и тех участков, которые могут отличать действительно поздние стадии эволюции, разные у человека и шимпанзе. Функции данного гена возникли очень давно, что, кстати, является очень сильным аргументом против любых упрощений, как, например, с открытием того же «гена языка». О нем начали говорить, только когда он был открыт у человека, но оказалось, что он есть у мышей, у птиц, хуже того — он есть у крокодилов!

Вообще, создается такое впечатление, что вся эволюция направлена на нейропуть, на развитие мозга. Это могло быть вызвано тем, что среда требовала нагрузки на нервную систему. Мутации происходят во всех генах, ответственных за те или иные функции в разных органах, не только в мозге. Просто ▶



естественный отбор дает большую нагрузку (с точки зрения адаптации) на те функции, что связаны с поведением, — там давление серьезнее, там происходит более активное накопление адаптивных мутаций.

Нервная система «толкает» нас в такие условия (и позволяет адаптироваться к ним), которые влекут за собой появление новых морфологических признаков. Например, если изменение поведения приводит к смене видов пищи, то постепенно меняется строение тела и т.д. То есть мозг может ускорять и морфологическую эволюцию.

Итак, одна из структур мозга вдруг начинает усложняться в результате неких генетических изменений, которые могут накапливаться из-за того, что организм, популяция попали в другие условия, куда их пластичный мозг дальше начинает вести и эволюцию генома. Это как раз и есть второй, эпигенетический, сценарий.

Здесь приходит в голову интересная параллель из знаменитой книги профессора антропологии Калифорнийского университета Теренса Дикона «Символический вид». Он пишет там, что не язык приспособился к мозгу,

а напротив, мозг приспособился к языку. Книга Дикона — это, в частности, одно из первых изложений гипотезы о том, что не генетические изменения (даже если мы их сегодня видим) лежали в основе появления языка, а наоборот. Кажется, что вообще в процессе эволюции часто очень трудно отделить причину от следствия, потому что идет речь об эволюции системы, которая многомерно движется. Но, с другой стороны, ведь существовала объективная реальность, и мы хотим ее познать. Она не может быть одновременно и такой, и другой — это две разные парадигмы. Может быть, в каких-то ситуациях больше работают одни принципы, в других — другие.

Но одну вещь мы можем сказать точно, исходя из последних исследований: любые неэволюционные сценарии появления человека и человеческого разума на том массиве данных, которым мы сегодня располагаем, просто не реалистичны. Все-таки ответ надо искать в рамках современной, синтетической теории эволюции. И второе: количество сходств на генетическом, морфологическом, функциональном уровне, когда исчезают грани между свой-

ствами, уникальными для человека и других животных, сегодня таково, что главной в XXI в. становится тайна человеческого мозга и разума. Эта загадка, наверное, будет одной из главных в науке, но у нее должно быть эволюционное решение.

Память — внутренняя и внешняя

Помимо собственно мозга, разума, человека отличает от других животных еще одно уникальное свойство, а именно — так называемая выносная память, способность вынести накопленные знания за пределы индивидуального мозга. Именно благодаря этому произошла культурная и социальная эволюция, которая идет невероятными темпами и привела к значительному изменению численности человечества. Ведь если мерить по биологической шкале, то наша культурная эволюция занимает ничтожное время, какую-то миллисекунду — и при этом такая потрясающая эффективность! Данный процесс выходит за рамки традиционного генетического отбора, закрепляющего наследственные признаки в поколениях.

Связано это еще и с тем, что наш мозг чрезвычайно пластичен. И каждое следующее поколение, рождаясь, взаимодействует не только со своими родителями, но и с социумом, с накопленной внешней памятью, историей, опытом и готово благодаря пластичности мозга усваивать все это. И здесь будет уместно вернуться назад к так называемому «гену языка». Мы коснулись двух вопросов: во-первых, был ли какой-то толчок, который привел к возникновению языка, и было ли это связано с геном, а во-вторых, если да, то языка ли? Почему, скажем, не памяти? При исследованиях функции данного гена оказалось, что у пациентов, страдающих нарушениями речи, повреждены и определенные формы памяти — а именно, так называемой «рабочей памяти». Это удержание в памяти оперативной информации, произошедших только что событий, целей и мотивов действий — т.е. вещей, которые зави-

В. Марченко. «Музыка, навевшая меланхолию»

сят от передних отделов головного мозга, от лобных долей, связанных с целепологанием и вероятностным прогнозированием.

Как все-таки работает эта система, управляющая, в частности, языком как одним из самых главных проявлений сознания? Там фигурируют и память, и та картина мира, который вас окружает и, главное, — то, как вы контактируете с ним, используете внешнюю память и сами вкладываете в эту память собственную информацию и собственные ощущения. То, что называется общественным сознанием как плодом сознания человека. И здесь мы должны были бы предостеречь против простых решений — что все это возникло в результате единичных генетических изменений, или же что

сать» алгоритм данного языка. Ведь мозг ребенка должен создать некий «виртуальный учебник», причем самостоятельно, поскольку ему никто никогда ничего не объясняет. Как он умудряется это делать — со всей структурой, всеми рекурсивными правилами, грамматикой, эмоциональными коннотациями — да еще и за минимальное время, т.е. годам к трем, хотя за этим и стоит огромный период эволюции?

Интересно, что существует контроль над экспрессией генов, которые уже сделали свою работу, когда человек был маленьким, и его мозг только формировался, а потом эти гены должны замолчать, потому что сыграли свою роль. Но в зависимости от определенных условий гены могут начать работать вновь, уже

но помнить — от того, чем занят его мозг, зависит судьба мозга.

Концептуальный мост

Подытоживая, можно сказать, что мы касались разных уровней происхождения, развития и работы мозга и сознания, но загадка разума будет решена только тогда, когда мы последовательно пройдем их все. Во многом особенности человеческого разума зависят от функциональной анатомии мозга, но эта анатомия создавалась постепенно, и мы должны понять законы развития мозга, законы эволюции, связанные с генами, должны выстроить непрерывный концептуальный (не упрощенческий) мост, который поможет воспроизвести единую картину. Не случайно поэтому многие выдающиеся ученые говорят, что в XXI в. проблемы биологии разума и биологии мозга займут то место, которое в XX в. занимали проблемы биологии гена и биологии наследственности.

Для существ человеческого типа характерна такая возможность переработки информации, поэтому если мы вообще хотим что-нибудь знать о мире, мы должны прежде всего выяснить, как функционирует то, чем мы это познаем, — мозг и сознание.

В одной английской энциклопедии сказано, что сознание — вещь наиболее очевидная и наименее понятная в деятельности человеческого мозга. Мы все это понимаем, но все-таки пока не пытаемся дать определение. Мы старались заглянуть за эту границу, пользуясь современными достижениями генетики, психонейролингвистики и понять, как работает наше сознание, как функционирует язык, и как мы понимаем себя и других. Это, по существу, самое интересное, что есть в человеке — самопознание нашего разума. ■

Подготовила Е.В. Кокурина

Редакция выражает благодарность передаче «ОЧЕВИДНОЕ – НЕВЕРОЯТНОЕ» за помощь в подготовке материала

Сознание — вещь наиболее очевидная и наименее понятная в деятельности человеческого мозга

в основе этих сложных процессов лежат отдельные гены. То, что дефекты какого-то гена могут избирательно привести к нарушению речи, понимания, усвоения языка, еще ни о чем не говорит. Возьмите простую механическую систему, например дерево со многими корнями и кроной. Если вы подрубите один из корней, то можете увидеть, как сохнут какие-то из ветвей. Но будет ли это означать, что данные ветви выросли именно из того самого корня?

Привел ли именно ген *HARI* к тому чуду, с которым сталкиваемся мы, когда видим, как маленький ребенок умудряется овладеть своим первым языком? Это поразительная вещь, потому что его ведь никто никогда не учит! Малыш не знает, в какой языковой среде он родится: в японской, в молдавской, в русской или другой. У него действительно есть генетические механизмы, но осознание необходимости существования этих механизмов и ожидание открытия одного ответственного за это гена разделяет большое пространство. Определенно, у мозга есть способность «пи-

во взрослом состоянии. Подобно барону Мюнхгаузену, мы сами себя вытягиваем за волосы из болота в том смысле, что наш мозг — орган, в котором развитие никогда не прекращается. То, с чем мы сталкиваемся через наш опыт, постоянно провоцирует изменение работы генов и маленькие эпизоды морфогенеза, развивающие наш мозг. Когнитивные процессы стимулируют генетические процессы — совершенно неожиданный и просто потрясающий факт! Но здесь нет ничего похожего на лысенковщину, хотя некоторые используют метафору «социальное (культурное) наследование».

Нейронная сеть усложняется в зависимости от того, чем мозг занят — это известно давно. Естественно, что образуются новые более сложные связи, и никаких чудес тут нет. Но тот факт, что в этот процесс включаются гены, все-таки обладает новизной, хотя и здесь нет ничего странного, если рассуждать с позиций клеточной биологии. И, тем не менее, это звучит весьма оптимистично и в каком-то смысле нравственно: человек должен постоян-