



Кристоф Кох и Сьюзен Гринфилд

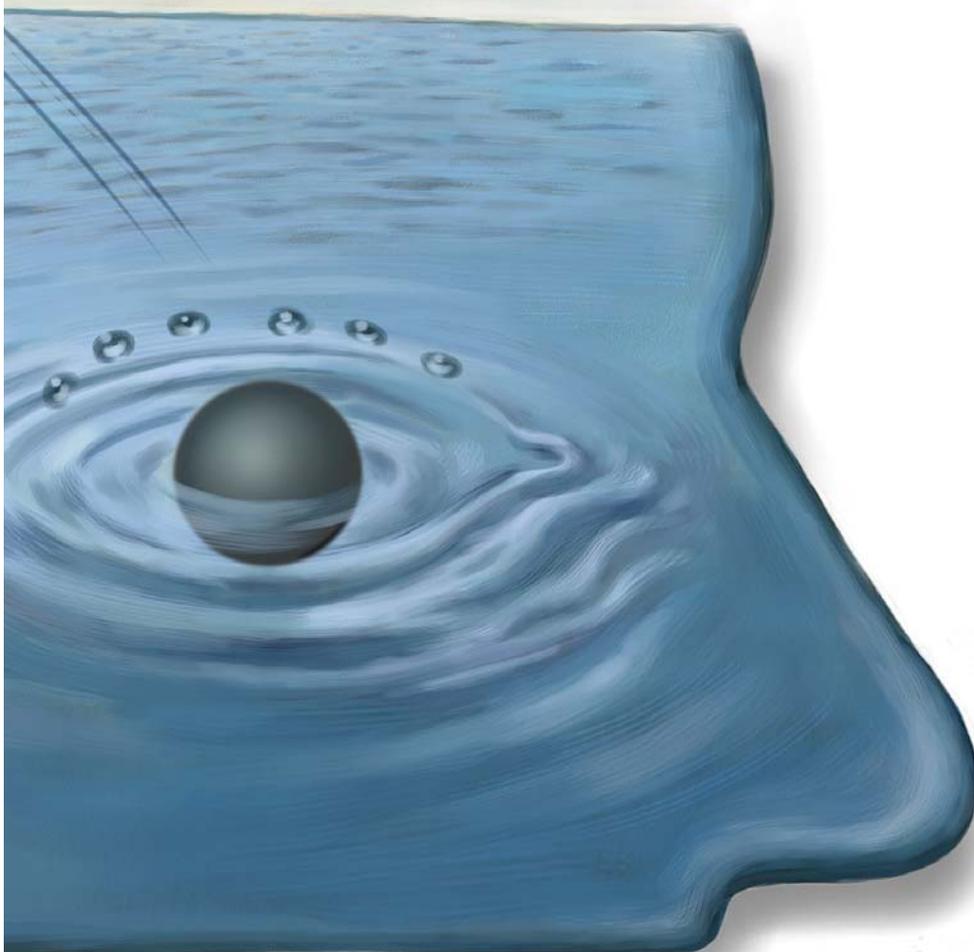
КАК РОЖДАЕТСЯ СОЗНАНИЕ?

Одной из главных
нерешенных
проблем в науке
остаётся вопрос
о возникновении
СОЗНАНИЯ

Для нас, нейрофизиологов, решение этой загадки стало целью всей жизни. В наших взглядах много общего, в том числе мы оба убеждены, что не существует единой проблемы сознания. На самом деле есть множество явлений, которые необходимо объяснить, в частности, самосознание (способность анализировать собственные желания и мысли), содержание сознания (что именно мы осознаем в каждый конкретный момент), и то, как процессы, происходящие в мозге, связаны с сознанием и с бессознательным.

Так где же искать ответы? Ученые пока не обладают достаточными

знаниями о внутренних процессах в мозге, чтобы точно сказать, как сознание возникает из электрической и химической активности нейронов. В качестве первого шага необходимо найти наилучшие нейронные корреляты сознания (НКС) — активность мозга, сочетающуюся с теми или иными явлениями сознания. Что происходит в нейронах мозга, когда мы осознаем, что видим собаку, или когда нам вдруг становится грустно? Мы оба стремимся найти нейронные события, соответствующие каждому субъективному переживанию. И здесь наши взгляды начинают расходиться.



Два ведущих нейрофизиолога Кристоф Кох и Сьюзен Гринфилд расходятся во мнении о том, какая активность в мозге соответствует субъективным явлениям

Разногласия относительно наилучших НКС возникли во время бурного научного спора, проходившего в Оксфордском университете летом 2006 г. при спонсорском участии Фонда наук о разуме в Сан-Антонио. С тех пор мы продолжаем изучать и оспаривать взгляды друг друга. При этом нас объединяет то, что наши суждения основываются на нейрофизиологии, а не являются умозрительными философскими построениями. Мы оба проанализировали значительный объем нейробиологических, клинических и психологических данных, на которых и построены наши аргументы.

ОБ АВТОРАХ

Кристоф Кох (Christof Koch) – профессор когнитивной и поведенческой биологии в Калифорнийском технологическом институте. На протяжении двух десятилетий преподает и проводит исследования нейрофизиологических основ зрительного внимания и памяти. Кох — большой поклонник пеших прогулок и скалолазания, покорил несколько известных вершин.

ЕГО ТЕОРИЯ: При каждом явлении сознания характерным образом разряжается уникальный набор нейронов в определенных областях мозга.

Сьюзен Гринфилд (Susan Greenfield) – профессор фармакологии в Оксфордском университете, директор Королевского института Великобритании и член Палаты лордов британского парламента. Ее исследования направлены на раскрытие непознанных мозговых механизмов, в том числе тех, которые лежат в основе нейродегенеративных заболеваний. Любимое времяпровождение — сквош и танцы.

ЕЕ ТЕОРИЯ: При каждом явлении сознания нейроны из разных областей мозга синхронизируются в координированные ансамбли, которые быстро распадаются.

Кристоф Кох:

«Специализированные группы нейронов отвечают за различные аспекты сознания»

В настоящее время мы занимаемся поиском наиболее адекватных нейронных коррелятов сознания. Если мы найдем правильные НКС, то сможем понять и рождение сознания.

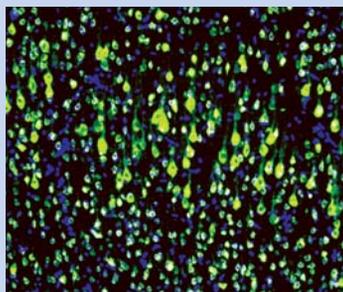
Я считаю, что каждый сознательный результат восприятия (т.е. то, как в мозге отображаются стимулы, воздействующие на органы чувств) связан с конкретным объединением нейронов, функционирующим определенным образом. Существует один уникальный нейронный коррелят сознания для восприятия красного пятна, другой — для восприятия своей бабушки (ссылка на теорию гностических нейронов Ю. Конорского; «нейрон бабушки» — нарицательное понятие. — Прим. пер.), третий — для состояния гнева. Блокировка любого нейронного коррелята сознания изменит связанное с ним восприятие или приведет к его исчезновению.

В физиологическом плане вероятным субстратом НКС служат объединения пирамидных нейронов коры больших полушарий — разновидности нервных клеток, соединенных между собой связями на значительном удалении друг

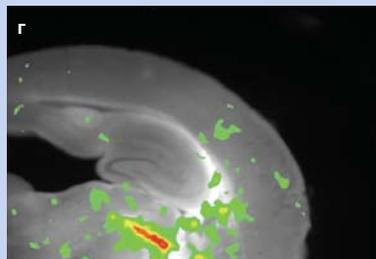
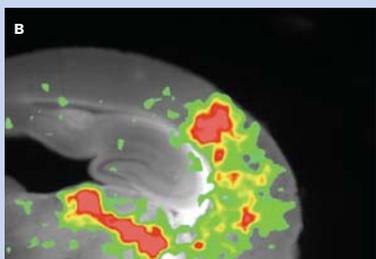
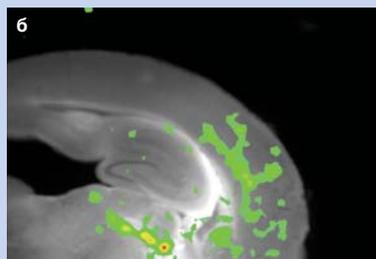
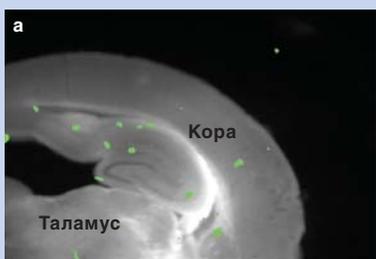
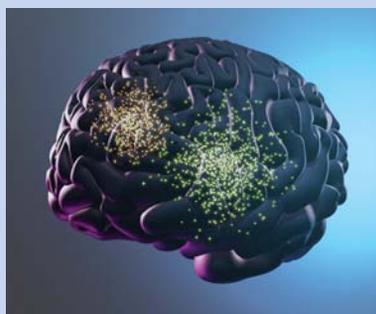
СОЗНАНИЕ ПОЛУЧАЕТ ОБЪЯСНЕНИЕ

Что происходит в нашем мозге, когда мы видим собаку, слышим голос, или нам вдруг становится грустно?

МОДЕЛЬ КОХА. Объединение пирамидных нейронов, соединяющее переднюю и заднюю области коры больших полушарий, разряжается уникальным образом. Разные объединения соответствуют различным стимулам (слева). В коре больших полушарий мозга мыши (справа) эти пирамидные клетки (зеленые) лежат в пятом слое и окружены глиальными клетками (голубые)



МОДЕЛЬ ГРИНФИЛД. Нейроны из разных областей мозга разряжаются синхронно (зеленые) и доминируют до тех пор, пока другой стимул не вызывает появление нового ансамбля (показан оранжевым). Ежемоментно под влиянием входящих сигналов образуются и распадаются различные ансамбли. В коре мозга крысы (внизу) ансамбль формируется (а, б), достигает максимума (в), затем исчезает (г) за 0,35 с от момента электрической стимуляции таламуса



от друга. Вероятно, для таких групп требуется всего миллион нейронов из 50—100 млрд, содержащихся в нашей голове. Объединение тянется от коры на задней стороне полушарий, где начинается обработка зрительных стимулов, до передней стороны, выполняющей такие исполнительные функции, как анализ причинно-следственных связей и планирование действий. Если я, например, посмотрю на Сьюзен (обращу внимание на ее образ, проецирующийся на мою сетчатку), то это повысит силу или синхронность активности данной группы нейронов. Объединение способно само себя поддерживать и подавлять конкурирующие объединения, передавая возбуждительные сигналы между входящими в него нейронами. Если вдруг кто-нибудь позовет меня по имени, то в коре образуется другое нейронное объединение. Оно установит двустороннюю связь с передней частью мозга и направит мое внимание на голос, подавляя существовавшее до того объединение, представлявшее лицо Сьюзен, которое теперь исчезнет из моего сознания.

Одна из универсальных истин в биологии заключается в том, что для выполнения тех или иных необходимых функций у организмов развиваются соответствующие приспособления. Это правило в полной мере относится и к мозгу. Нервные клетки приобрели множество форм и функций, а вместе с ними и различные способы соединения. Такая неоднородность отражается и в нейронах, образующих НКС. И здесь наши взгляды с Сьюзен сильно расходятся. По моему мнению, сознание — это не некоторое целостное свойство большого количества разряжающихся нейронов, которые омываются раствором нейромедиаторов, как считает она. Я утверждаю, что конкретные группы нейронов опосредуют или даже генерируют различные явления сознания.

И поскольку нейрофизиологи получают все больше возможностей для тонкого воздействия на по-

STUART C. SEALFON AND POKMAN CHAN Mount Sinai School of Medicine (mouse cortex); MICHAEL HILL University of Oxford (video stills); ALFRED T. KAWAJIAN (brains)

пуляции нейронов, мы вскоре сможем перейти от наблюдения того, что определенное состояние сознания связано с конкретной нейронной активностью, к выявлению причинно-следственных связей, т.е. констатации того, что определенная популяция отчасти или целиком отвечает за состояние сознания.

Но как определить, какая именно группа нейронов и какая активность в ней составляют осознаваемое восприятие? Вовлекают ли НКС все пирамидные нейроны коры в каждый данный момент времени? Или же они задействуют лишь подгруппу клеток с дальними проекциями, которые осуществляют взаимодействие между лобными долями и сенсорными областями в задней части мозга? Может быть, они вовлекают нейроны отовсюду при условии, что те разряжаются синхронно?

Большая часть исследований НКС была направлена на изучение зрения. Психологи отработали методики, позволяющие прятать объекты от нашего сознательного восприятия. Один из примеров такого явления был продемонстрирован в 2005 г. Восприятие небольшого неподвижного изображения, проецирующегося в один глаз (например, нечеткого очертания лица серого цвета), полностью подавляется, если в другой глаз передавать череду непрерывно меняющихся цветowych пятен. Несмотря на то что в ответ на стимуляцию левого глаза в зрительной коре интенсивно разряжаются огромное количество нейронов, они не находят выхода в сознание. Данный результат трудно объяснить с позиции Сьюзен, согласно которой когерентный разряд больших групп нейронов и есть коррелят сознания. Различные зрительные иллюзии такого рода используются для поиска НКС в мозге обезьян и людей.

Вместе с коллегами я выдвинул несколько предположений о работе сознания, основанных на экспериментальных результатах. Одно из них состоит в том, что НКС включают в себя пирамидные нейроны- ▶

ПРОТИВОПОЛОЖНЫЕ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ

Почему звук будильника приводит в сознание спящего человека, находившегося в бессознательном состоянии?



ТОЧКА ЗРЕНИЯ КОХА. Нейроны в одной области ствола мозга, называемой голубым пятном, реагируют на резкое интенсивное воздействие, распространяющееся по слуховому нерву. Они немедленно вступают в действие, передавая свой химический сигнал в таламус и кору больших полушарий. Нейроны еще одной области выделяют ацетилхолин. В результате кора больших полушарий и связанные с ней структуры переходят в состояние бодрствования. После этого на основе возвратных связей устанавливается стабильное объединение широко распределенной, но тесно взаимосвязанной группы нейронов слуховой коры, передней части мозга и медиальных височных областей, обеспечивающих планирование и память. Эти события занимают всего долю секунды и заставляют нас проснуться от звука будильника.

ТОЧКА ЗРЕНИЯ ГРИНФИЛД. Любой сильный сенсорный стимул, например яркий свет, индуцирует сознание, так что никакая конкретная область не может быть ответственна за наше пробуждение. Звук будильника приводит в сознание не по причине качества самого стимула (в данном случае слухового), а из-за своего количества (громкость). Уровень сознания зависит от размеров короткоживущих нейронных ансамблей, а размер ансамбля в каждый данный момент определяется тем, насколько нейроны готовы к кратковременной синхронизации. Одним из ключевых факторов является сила сенсорной стимуляции, действующая подобно брошенному в пруд камню. Чем громче звук (или ярче свет), тем с большей вероятностью он сможет вовлечь обширный ансамбль нейронов, а чем больше ансамбль, тем скорее вы проснетесь

ны, стратегически расположенные в выходной зоне коры больших полушарий — в ее пятом слое. Эти клетки посылают сигналы и принимают сильные возбуждающие входы от пирамидных нейронов в других областях коры. Такая организация создает петлю положительной обратной связи, позволяющей образованному объединению нейронов существовать до тех пор, пока его не выключит другое формирующееся объединение. Разряд таких групп продолжается в течение долей секунды, что более соответствует временной шкале сознания, чем разряд одиночных нейронов.

Сознание рождается из качественных, а не количественных различий в нейронных объединениях

Недавно группы исследователей из Школы медицины Маунт-Синай Колумбийского университета и Психиатрического института штата Нью-Йорк под руководством Стюарта Силфона (Stuart C. Sealfon) и Джея Гингрича (Jay A. Gingrich) продемонстрировали на генетически модифицированных мышках, что галлюциногены — такие как ЛСД, псилоцибин (содержащийся в грибах) и мескалин — действуют на определенный тип молекул, называемых серотониновыми рецепторами, которые обнаруживаются на пирамидных клетках, сгруппированных в пятом слое. Гипотезу, согласно которой влияние галлюциногенов на сознание происходит по причине активации одного типа рецепторов, располагающихся на конкретной группе нейронов, можно далее протестировать с помощью молекулярных инструментов, которые позволят включать и выключать пирамидные нейроны пятого слоя до тех пор, пока не будет точно выявлена вовлеченная группа нейронов.

Второе предположение относительно того, что НКС лежат в основе сознания, касается оград — уплощенной структуры, располагающейся под корой больших полуша-

рий. Нейроны этой структуры получают входы практически от всех областей коры и проецируются обратно. Видимо, ограда расположена идеально для того, чтобы объединять активность сенсорных областей коры в целостное восприятие.

Для дальнейшего развития этих идей нейрофизиологи должны изучить электрическую активность большого количества нейронов в различных местах мозга. Предварительные попытки подтверждают, что конкретные группы нейронов выражают отдельные разновидности восприятия, составляющие наши ежедневные впечатления.

Однако из вышесказанного вовсе не следует, что один, 100 или даже миллион нейронов, выращенных в чашке Петри, могут обладать сознанием. Нейроны входят в состав обширных сетей и способны генерировать сознание лишь в данном контексте. Полезно провести такую аналогию: несмотря на то что молекулы ДНК кодируют состав белков нашего тела, для синтеза белка необходимо множество других молекул.

Разницу в содержании сознания грудных детей, взрослых людей и животных можно объяснить различиями в свойствах возникающих у них нейронных объединений. Существование каждого объединения зависит от систем пробуждения в стволе мозга и в таламусе (передающем сенсорные входы в кору), которые постоянно находятся в активном состоянии и снабжают кору нейромедиаторами и другими веществами. Если системы пробуждения молчат, то никакие устойчивые объединения нейронов не возникают, и человек находится без сознания. Так происходит и во время глубокого сна, и под действием наркоза.

Несмотря на то что модель нейронных объединений можно ис-

следовать в физиологических экспериментах, существует разумное возражение, что она не является теорией, базирующейся на наборе конкретных положений — т.е. не способна предсказать, какая система станет обладать сознанием. Нейрофизиологии же необходима такая теория, которая сможет предугадать на основе физических измерений, какие из следующих организмов имеют сознание: дрозофила, собака, человеческий плод через пять месяцев после зачатия, пациент с тяжелой болезнью Альцгеймера, Всемирная паутина и т.п.

Некоторые специалисты, включая Джулио Тонони (Giulio Tononi) из Висконсинского университета в Мэдисоне, работают над подобными концепциями. Однако мы еще столь невежественны в отношении работы мозга, что нам остается лишь строить предположения. Нужны конкретные гипотезы, которые можно было бы проверить с помощью современных технологий.

Мое объяснение в своей основе сводится к тому, что сознание рождается из качественных, а не из количественных различий в нейронных объединениях. Значение имеет не число вовлеченных нейронов, как настаивает Сьюзен, а информационная структура, которую они представляют. Для каждого конкретного восприятия необходима определенная сеть нейронов, а не случайный набор активизирующихся нейронов. Более того, для обеспечения полноценного сознания объединения нейронов должны включать как сенсорные представительства в задней части коры, так и лобные структуры, вовлеченные в память, планирование и речь. Мозг работает не за счет своей массы, а в силу того, что нейроны соединены чрезвычайно специфичным и индивидуальным образом. Закономерности их соединения отражают всю аккумулированную информацию, которую организм приобрел в течение всей своей жизни, а также генетическую память предков.

Сьюзен Гринфилд:

«Сознание рождается при количественном усилении целостного функционирования мозга»

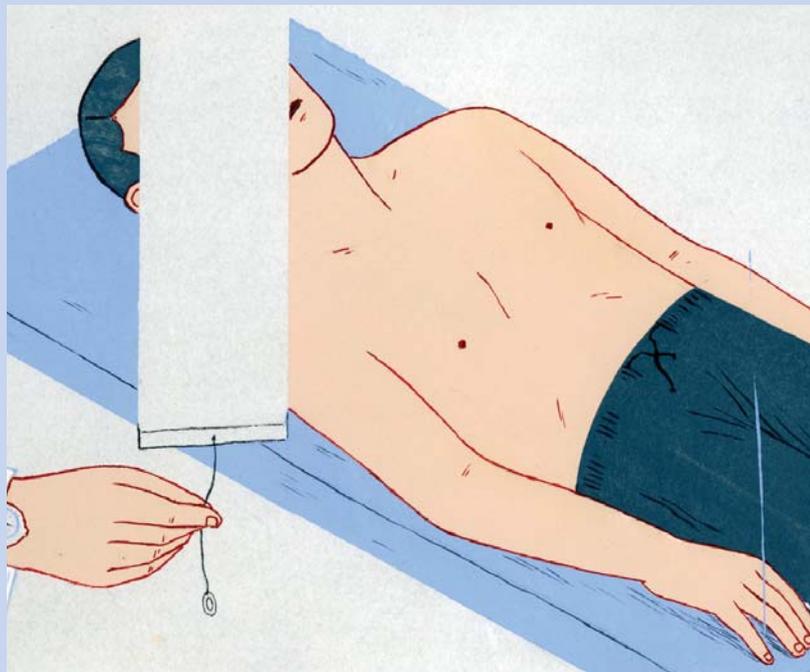
Если нейронные корреляты сознания являются всего лишь рядом одних нейронов, а не других, как предполагает Кристоф Кох, то сознание находится в самих нейронах. Однако Кристоф не дает никакого объяснения тому, какими качественными свойствами они должны обладать. Более того, если даже миллион нейронов не может породить сознание, не являясь частью «обширных сетей», тогда основная нагрузка в идентификации НКС переносится на то, чтобы их выявить. Пытаясь обнаружить различные формы сознания в конкретных связях в мозге, Кристоф привязывает различные функции к конкретным областям мозга. Не следует забывать, что многие животные, в том числе птицы, не имеют коры больших полушарий, однако считается, что сознанием они обладают.

На мой взгляд, сознание нельзя разделить на различные параллельные явления. Действительно, мы знаем, что зрительная стимуляция может повлиять на то, как мы слышим, и наоборот. Слияние компонентов сенсориума опровергает такие концепции, как изолированное зрительное сознание. Еще важнее то, что мы можем быть как в сознании, так и без него. В лаборатории Кристофа испытуемые находятся в сознании на протяжении всего эксперимента, следовательно, манипуляции производятся не с самим сознанием, а с его содержанием. Любой полученный результат таких испытаний будет, по сути, попыткой ответить совсем на другой вопрос: «Что такое внимание?». Он, безусловно, правомерен, однако отличается от вопроса «Что такое сознание?». Я настаиваю, что для выявления лучших НКС мы должны найти различия между сознательным и бессознательным состояниями.

Я считаю, что не существует никакого внутреннего волшебного

ПРОТИВОПОЛОЖНЫЕ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ

Как действует наркоз?



КОХ: Современные анестезиологи используют широкий спектр разнообразных веществ, отключающих сознание. Раньше ученые полагали, что анестетики взаимодействуют с липидами в клеточных мембранах нейронов. Теперь мы знаем, что данные соединения воздействуют на различные нейрональные процессы, связываясь с определенными мембранными белками. При этом не существует единого механизма, выключающего сознание. Одна из наиболее важных причин этого явления заключается в том, что наркоз усиливает синаптическое торможение или ослабляет синаптическое возбуждение в больших областях мозга. Активность отключается не полностью, однако способность групп нейронов образовывать устойчивые объединения сильно нарушается. Когда нейроны, представляющие передние и задние области коры больших полушарий, оказываются неспособными установить синхронизированную коммуникацию, сознание исчезает.

ГРИНФИЛД: Анестетики не выключают какую-либо конкретную область мозга, они подавляют нейронную активность во всем мозге. Следовательно, анестетики достигают своего эффекта, изменяя нейронные ансамбли. По мере того как уменьшается размер нейронных ансамблей, они снижают уровень сознания вплоть до его исчезновения. Этот сценарий также объясняет различие уровней сознания, сменяющих друг друга по мере того, как начинает действовать наркоз. Люди, в мозге которых недостаточно функционируют нервные связи и, следовательно, образуются слишком маленькие ансамбли, часто демонстрируют сильные эмоции и отсутствие здравого смысла. Ровным счетом то же самое наблюдается у пациентов в начале действия наркоза.

свойства, присущего каким-либо областям мозга или группам нейронов, отвечающим за сознание. Нам надо выявить некоторый процесс

в мозге; и для того, чтобы он был истинным коррелятом сознания, он должен объяснять множество явлений, с которыми мы регулярно ▶

ПРОТИВОПОЛОЖНЫЕ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ

Чем объясняется субъективная разница между сном и бодрствованием?



КОХ: Во время фазы сна с быстрыми движениями глаз закономерности распределения активности по областям мозга сильно отличаются от того, что наблюдается при бодрствовании. В частности, лимбическая система (система эмоций и памяти) очень активна, однако области лобных долей, участвующие в рациональном мышлении, подавлены. Объединения нейронов возникают как во время сна, так и во время бодрствования, однако они включают в себя нейроны из разных частей мозга. Во время бодрствования объединения могут включать значительно больше нейронов в префронтальной коре, где на восприятие накладывается логика и причинно-следственные связи, однако такая активность резко снижается во время сна. Именно этим объясняется причудливость и выраженная эмоциональная окраска сновидений.

ГРИНФИЛД: Сновидения связаны с ансамблями нейронов значительно меньшего размера, чем во время бодрствования. Размер ансамблей ограничен, т.к. нет сильных сенсорных стимулов, привлекающих большие количества нейронов. Следовательно, кратковременное вовлечение нейронов во время сна обусловлено только лишь реакциями на собственную спонтанную мозговую активность. И поскольку ансамбли не запускаются естественной по-следовательностью событий внешнего мира, то взаимосвязи между сменяющимися друг друга ансамблями делаются хаотичными или вообще отсутствуют, в результате сновидения становятся случайным набором образов или событий. Отсутствие обширных действующих нервных связей также объясняет очевидное отсутствие самоконтроля, характеризующего в норме наше бодрствующее сознание.

сталкиваемся, например пробуждение от будильника, действие наркоза, сон и бодрствование, самосознание, разница между сознанием человека и животного.

Но где же ключ к нейронным механизмам этого процесса? Немецкий нейрофизиолог Вольф Зингер (Wolf Singer) продемонстрировал, что огромная популяция нейронов в таламусе и коре больших полушарий на некоторое время начинает синхронно разряжаться на частоте 40 раз в секунду. Но поскольку такая же активность может возникнуть в живой ткани, выращенной в чашке Петри, для возникновения сознания необходимо какое-то дополнительное условие.

Нейрофизиолог Родольфо Ллинас (Rodolfo Llinas) из Медицинского центра Нью-Йоркского университета недавно предположил, что координированный кратковременный разряд устанавливает две взаимодополняющие петли между таламусом и корой больших полушарий, которые обеспечивают сознание. Это «специфическая» система, связанная с содержанием сознания, и «неспецифическая», связанная с системой пробуждения и поддержания уровня бодрствования. Такая логика позволяет объяснить, почему сильный сенсорный вход от звука будильника полностью включает сознание. Более того, модель Ллинаса проводит различие между сознанием сновидений и бодрствования. Во время сновидений не существует сенсорного входа, поддерживающего петлю бодрствования, поэтому функционирует лишь петля содержания сознания.

Основная проблема состоит в том, что в модели, разработанной Ллинасом, сознание рассматривается как состояние, возникающее по закону «все или ничего». Она не способна учесть, как в мозге происходят приливы и отливы непрерывно меняющегося сознания. Я склоняюсь к альтернативному объяснению. На протяжении более чем десяти лет ученые знают, что активность десятков миллионов нейронов может синхронизироваться на не-

сколько сотен миллисекунд, а затем менее чем за секунду синхронизация распадется. Такие «ансамбли» клеток со скоординированной активностью способны непрерывно видоизменяться, причем пространственная и временная шкала этого процесса как раз подходит для череды впечатлений сознания, происходящих «здесь и сейчас». Широко распределенные сети нейронов собираются, разъединяются и вновь соединяются в ансамбли. Согласно моей модели, уровень сознания постоянно меняется, и количество активных нейронов коррелирует с уровнем сознания в каждый данный момент времени.

Такой нейронный коррелят сознания — кратковременный ансамбль — удовлетворяет всему перечню перечисленных выше явлений. Действие звука будильника объясняется тем, что сильнейший сенсорный вход включает мощный синхронный ансамбль. Сновидения и бодрствование различаются, поскольку сны являются результатом работы маленьких ансамблей, иницируемых слабыми внутренними стимулами, в то время как в основе бодрствования лежат большие ансамбли, поддерживаемые более сильными внешними стимулами. Наркоз уменьшает размер ансамблей, и тем самым отключает сознание. Самосознание может возникнуть только в том случае, если мозг достаточно велик и обладает значительным количеством внутренних связей, чтобы могли образовываться обширные нейронные сети. Степень сознания животного или человеческого плода также зависит от размеров ансамблей.

Заметьте, что и Кристоф, и я ищем корреляцию — способ показать, как соотносятся мозговые явления и субъективные впечатления, однако не стремимся выявить промежуточное звено — как именно одно превращается в другое. Нервные ансамбли не «создают» сознание, они служат указателями его уровня. Поскольку размер ансамбля и соответствующая ему степень сознания зависят от большого коли-

чества физиологических факторов (количества связей, силы стимула и конкуренции), каждым из них можно управлять в эксперименте. Способность ансамблевой модели генерировать фальсифицируемые гипотезы и объяснять целый ряд феноменов, связанных с сознанием, делает ее особенно убедительной.

Однако решающие тесты на людях придется отложить до появления более совершенных нейн-вазивных методик визуализации с миллисекундным разрешением, соответствующим временной шкале образования и распада нейронных ансамблей. Когда появятся подобные технологии, мы сможем наблюдать ансамбли, коррелирующие с такими субъективными явлениями, как, например, невралгическая боль, депрессия и шизофрения.

Нет никакой необходимости в наличии «центра» для любой функции мозга, а в особенности для сознания

Тем не менее, исследователи уже наблюдали ансамблевую модель в действии. В 2006 г. Тоби Коллинз (Toby Collins) и другие сотрудники моей группы в Оксфорде показали на крысах, что образование, активность и длительность существования ансамблей избирательно коррелируют с действием веществ, вызывающих наркоз. Еще не опубликованные результаты исследований, проведенных в моей лаборатории, показывают, что количество нейронов, активных в составе ансамблей в сенсорных областях коры крыс, отражает глубину наркоза. Недавно мы продемонстрировали, что у грызунов ансамбли в зрительной и слуховой коре могут служить хорошей основой для разделения субъективного зрительного и слухового восприятия.

Можно возразить, что ансамблевая модель никак не привязана к пространству. Однако часто мы уделяем слишком много внимания самой локализации. Нет никакой необходимости в наличии «центра»

для любой функции мозга, а в особенности для сознания.

Мне кажется более правдоподобным, что множество областей мозга, создавая короткоживущие ансамбли, объединяются в некотором многомерном пространственно-временном континууме. Сложность заключается в том, что мы не можем описать это многомерное пространство с помощью имеющихся в нашем распоряжении методов. Возможно, когда-нибудь и удастся создать его математическую модель.

И, наконец, проблема, касающаяся самого базового уровня НКС — каким образом эти модели могут быть использованы для определения того, как физиологические события в мозге превращаются в то, что мы воспринимаем как сознание. И мы не сможем искать решение до

тех пор, пока не будем знать, какие доказательства нас удовлетворят: томограмма мозга, поведение крысы, сконструированный робот или же выведенная формула? ■

Перевод: Б.В. Чернышев

В редакции журнала «В мире науки» можно приобрести CD-диск «Мозг и сознание». Подробности по тел.: 105-03-72

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- The Private Life of the Brain. Susan Greenfield. John Wiley & Sons, 2000.
- A Framework for Consciousness. Francis Crick and Christof Koch in Nature Neuroscience, Vol. 6, pages 119–126; February 2003.
- The Quest for Consciousness: A Neurobiological Approach. Christof Koch. Roberts & Company Publishers, 2004.
- A Neuroscientific Approach to Consciousness. Susan A. Greenfield and T.F.T. Collins in Progress in Brain Research, Vol. 150, pages 11–23; 2005.