

НЕЙРОНЫ СОЗНАНИЯ

Е.Н. СОКОЛОВ



Соколов Евгений Николаевич — профессор кафедры психофизиологии факультета психологии МГУ им. М.В. Ломоносова, академик РАО, член Национальной академии наук США, член Американской академии наук и искусств, член Международной ассоциации психофизиологов, член Академии наук Финляндии, член Центрального совета Международной организации по исследованию мозга при ЮНЕСКО.

В 1984 г. Е.Н. Соколов за выдающийся вклад в развитие теории рефлекторных механизмов работы мозга награжден Золотой медалью им. И.П. Павлова. В 1988 г. Американская ассоциация психофизиологических исследований вручила Е.Н. Соколову специальный диплом «За выдающийся вклад в психофизиологию», которым награждаются ученые, чьи труды носят фундаментальный характер и оказывают заметное влияние на развитие науки.

В 1998 г. Международной психофизиологической ассоциацией Е.Н. Соколову вручена самая высокая награда этой организации — «ПРЕМИЯ СТОЛЕТИЯ–1998».

Контакты: ensok@mail.ru

Резюме

Предлагается гипотеза механизмов сознания, согласно которой сознание возникает в специфических нейронах сознания, образующих иерархические пирамиды. Предполагается, что внутриклеточные механизмы сознания основаны на квантовых процессах в микротрубочках цитоскелета нейронов сознания.

Все ли нейроны связаны с сознанием?

Сознание можно определить как поток субъективных состояний, который включает перцептивные, эмоциональные и мыслительные процессы, протекающие в мозге человека.

Дуалистическая философия Декарта надолго вывела изучение сознания из области естественных наук; и только в последние годы стал развиваться экспериментальный подход к его исследованию. Об этом свидетельствует опубликованная в 2003 г. статья Дж. Эдельмана (Edelman,

2003), призывающая ввести изучение сознания в систему естественных наук. В области нейробиологического подхода сознание рассматривается как результат сложного взаимодействия нервных клеток, в котором важнейшее значение имеет «повторный вход», т. е. возвращение разрядов нейронов первичных проекций после их сравнения с нейронными механизмами памяти в гиппокампе (Иваницкий и др., 1984). Эту гипотезу разделяет Дж. Эдельман (Edelman, 1987), подчеркивая, что сознание является продуктом эволюции. Сходную позицию занимает Э. Рой Джон (Roy John, 2002), вводящий представление о «критической массе» нейронов, необходимой для возникновения сознания. Сохраняя принцип «повторного входа», он подчеркивает роль когерентных осцилляций в нейронной активности.

Рассматривая проблему сознания, Э. Шредингер (Шредингер, 2000) ставит принципиальный вопрос: какие материальные процессы напрямую связаны с сознанием? В данной работе предлагается гипотеза, согласно которой в основе субъективных явлений лежит активность специфических нейронов — нейронов сознания. Предположение о специфических нейронах сознания основывается на том, что не все нейроны связаны с сознанием. Так, разрушение нейронов зрительной коры ведет у человека к слепоте, хотя нейроны сетчатки и колленчатого тела продолжают функционировать. Однако при слепоте, вызванной поражением сетчатки, локальное электрическое раздражение нейронов зрительной коры вызывает у человека элементарные зрительные ощущения — фосфены.

Исходя из факта связи возбуждения нейронов новой коры с возникновением ощущений, Дж. Экклс (Eccles, 1993) сформулировал положение о том, что сознание возникло в процессе эволюции в связи с формированием неокортекса у млекопитающих. Развивая это положение, Дж. Экклс предположил далее, что элементарный акт сознания — психическая единица «психон» — является результатом активации пучка дендритов пирамидных клеток новой коры — «дендрона». Психон и дендрон, согласно теории Дж. Экклса, однозначно связаны между собой. Подчеркивая связь с сознанием именно пирамидных клеток новой коры, Дж. Экклс тем самым ставит новый вопрос: все ли нейроны неокортекса млекопитающих связаны с сознанием?

Правомерность такого вопроса вытекает из данных относительно локальной электрической стимуляции новой коры человека. Оказалось, что отдельные точки коры головного мозга человека «немые»: не откликаются на электрические раздражения. Как обнаружил Г. Оджеман (Ojemann, 2003), их стимуляция не вызывает субъективных переживаний и не приводит к возникновению движений, оказывая лишь модулирующее влияние (активирующее или угнетающее) на реакции, вызываемые при стимуляции реагирующих точек. Как сообщает О. Кройцфельдт (Creuytfeldt, 1993), можно предположить, что такими точками модуляции являются проекции в новую кору восходящей активирующей и синхронизирующей систем ретикулярной формации ствола мозга и ретикулярных ядер таламуса. Особен-

ностью нейронов сознания является их зависимость от нейронов активирующей и инактивирующей систем. Сами нейроны этих систем не «генерируют» актов сознания. Однако отключение нейронов активирующей ретикулярной системы ведет к потере сознания, связанной с прекращением функционирования нейронов сознания новой коры. Усиление вклада синхронизирующей системы также ведет к отключению сознания, связанного с инактивацией нейронов сознания в медленноволновом сне.

Восприятие эмоциональных выражений лица, начинаясь в височной коре, достигает префронтальной коры правого полушария, локализуясь в ее ограниченном участке. Регистрация реакций этого участка через вживленные в мозг человека электроды показывает, что эмоциональные выражения лица, предъявляемые пациенту, вызывают негативный сдвиг постоянного потенциала только в данном участке префронтальной коры. Как обнаружили К. Маринкович и соавт. (Marinkovic et al., 2000), электрическое раздражение мозга через этот электрод приводит к галлюцинациям в виде зрительных образов лиц, а разрушение этого участка префронтальной коры вызывает нарушение восприятия эмоциональных выражений лица.

Модульная организация нейронов новой коры

Регистрация спайковой активности отдельных нейронов первичных корковых проекций и нейронов ассоциативных отделов коры показывает, что нейроны первичных проекций выделяют (детектируют) отдель-

ные признаки стимулов, тогда как нейроны ассоциативных областей избирательно реагируют на комплексные раздражители. Так, по данным Дж. Конорски (Konorski, 1967), Э. Роллса (Rolls, 2000) и В. Эренштейна с соавт. (Ehrenstein et al., 2003), нейроны первичных отделов зрительной коры избирательно реагируют на такие простые признаки, как определенный наклон линии, как показали Д. Хьюбел и Т. Визел (Hubel, Wiesel, 1979), тогда как нейроны ассоциативных отделов зрительной коры представляют собой «гностические единицы», избирательно реагирующие на такие сложные стимулы, как эмоциональное выражение лица человека.

Каково соотношение детекторов и гностических единиц? Учитывая тот факт, что поражение ассоциативной коры не нарушает функции детекторов первичных проекций, можно предложить иерархическую нейронную структуру в виде пирамиды. В основании этой пирамиды лежат таламические нейроны, не связанные непосредственно с сознанием, но образующие в качестве преддетекторов базис детекторов первичных проекций. Вершиной пирамиды является гностическая единица, определяющая целостное восприятие сложного стимула, воздействующего на преддетекторы в основании пирамиды. Гностическую единицу, представляющую вершину иерархии, можно назвать «гештальт-детектором», а саму нейронную пирамиду — «гештальт-пирамидой» (Соколов, 1996). Говоря о гностической единице, представляющей вершину пирамиды, следует иметь в виду, что таких пирамид на данном основании преддетекторов

множество, и на вершине каждой пирамиды находится своя гностическая единица, реагирующая только на специфический комплекс возбуждений предетекторов. Так, определенное эмоциональное выражение лица, возбуждая комбинацию специфических детекторов ориентаций линий, представляющих наклон бровей и углов рта, селективно возбуждает гностическую единицу на вершине одной из пирамид. Такой набор нейронных пирамид с их гностическими единицами образует нейронный модуль — в данном примере модуль эмоциональной экспрессии лица. Вершины пирамид данного нейронного модуля отстоят друг от друга тем дальше, чем больше различие между теми стимулами, которые их активируют. Формально вершины пирамид можно представить в геометрическом пространстве, размерность которого определяется независимыми реакциями предетекторов. Принцип модульной организации распространяется и на другие модальности.

С этой точки зрения сознание является результатом работы множества параллельно действующих независимых модулей. Примерами таких нейронных модулей могут служить модуль обработки цветовой информации, модуль идентификации лиц, модуль спецификации эмоциональных выражений лица, модуль восприятия направления и скорости движения, модуль анализа пространственных отношений. Эти модули образуют две когнитивные системы: вентральную систему «что?» и дорзальную систему «где?». Получая общие данные, эти системы и входящие в них модули действуют параллельно и независимо друг от друга.

Независимость нейронных модулей

Независимость нейронных модулей доказывается тем, что при локальных поражениях мозга можно наблюдать выпадение одного из модулей при полном сохранении других (Лурия, 1976). В последнее время эти результаты были подтверждены в обстоятельном исследовании Л. Шпильмана с сотрудниками (Spillmann et al., 2000). Как результаты объективного анализа полей зрения больного, так и подробные протоколы самонаблюдений, описанные в данной работе, говорят о том, что инсульт в ассоциативных областях коры правого полушария не затронул речевую и интеллектуальную функции. Не произошло заметных изменений и в первичных зрительных проекциях мозга, как об этом говорит периметрический анализ поля зрения, однако полностью было утрачено цветное зрение (ахроматизация), хотя ахроматическое (черно-белое) восприятие сохранилось. Произошло также нарушение работы «верхних этажей» модуля идентификации лиц, ведущее к невозможности узнать лицо даже близкого человека, хотя узнавание человека по голосу осталось сохранным. При невозможности узнать лицо как целое, восприятие отдельных его деталей было сохранным.

Пример с нарушением целостного восприятия лица при сохранении восприятия его отдельных элементов подтверждает принцип иерархической гештальт-пирамиды. Выпадение гностических единиц (гештальт-нейронов) на вершинах пирамид модуля идентификации лиц не затронуло

нижние этажи пирамиды, где происходит детектирование элементарных признаков — наклонов линий. В пользу иерархического построения и цветового модуля говорит сохранность ахроматического зрения как функции нижних этажей пирамиды (V1) при полном выключении хроматического восприятия, связанного с более высокими этажами зрительной системы (V4).

Доказательством независимости цветового модуля и модуля идентификации лиц служит быстрое восстановление цветового зрения при стойко удерживаемом дефиците узнавания лиц. Следует подчеркнуть, что нарушение узнавания лиц (прозопагнозия) обычно не затрагивает узнавания других объектов (дома, инструменты), представленных в других специфических модулях. Более того, нарушение узнавания лиц не распространяется на спецификацию эмоциональных выражений лица, представленных собственным модулем.

Рассмотренные выше модули принадлежат к вентральной системе «что?», но в сознании представлена и пространственная организация, которая определяется работой нейронов «топографического модуля», входящего в дорзальную систему «где?». По данным Л. Шпильмана (Spillmann et al., 2000), поражение нейронов «пространственного модуля», расположенных в теменной коре, ведет к невозможности воспринимать пространственные отношения, хотя восприятие отдельных предметов и не нарушено. Можно предположить, что «топографический модуль» системы «где?» образует пространственную рамку того зритель-

ного фрейма, в котором размещаются модули системы «что?».

Совмещение содержания модулей системы «что?» и «где?» можно отнести к префронтальной коре, где были обнаружены нейроны рабочей памяти, избирательно реагирующие на определенную комбинацию качественных и пространственных признаков (Николлс и др., 2003). Как считает Э. Роллс (Rolls, 2001), такое совмещение оказывается возможным за счет «топографических» нейронов с гигантскими рецептивными полями, охватывающими все поле зрения. Подобное расширение рецептивных полей нейронов с переходом на более высокие этажи «гештальт-пирамиды» позволяет мозгу интегрировать вклады модулей нейронов системы «что?», создавая отображение целостной сцены на отдельном нейроне.

Формирование гностических единиц

Как сообщает Э. Роллс (Rolls, 2001), микроэлектродное исследование нейронов инферотемпоральной коры обезьян показало существование в этой ассоциативной области коры нейронов, избирательно реагирующих только на определенное, конкретное лицо — лицо служителя питомника. Тот факт, что нейрон избирательно реагирует на стимул, связанный с жизненным опытом животного, означает, что такая избирательность сформировалась под влиянием внешней среды. Можно предположить, что жизненный опыт «записывается» в долговременную память путем формирования гностических единиц, фиксирующих события

(Соколов, Незлина, 2003). Основанием для выдвижения такой гипотезы послужили эксперименты И. Мияшиты с сотрудниками (Miyashita et al., 1991). Используя 90 случайных зрительных паттернов, авторы обучили обезьян их различать. В дальнейшем производилась микроэлектродная регистрация нейронов височной коры с применением как паттернов, использованных при обучении, так и новых случайных зрительных комплексов. В результате были обнаружены нейроны, избирательно реагирующие только на один из паттернов, использованных при обучении. Ни один из нейронов не реагировал на контрольные стимулы. Таким образом, было показано, что в процессе обучения сформировались нейроны с характеристиками, избирательными в отношении отдельных паттернов обучающей последовательности.

Аналогичные результаты были получены на кроликах и крысах в ситуации обучения. Были найдены «новые» нейроны, селективные в отношении определенных кормушек (Сварник, Анохин, Александров, 2001). В.Б. Швырковым была ранее сформулирована гипотеза о наличии «резерва нейронов», из которого происходит рекрутирование нейронов для обучения (Швырков, 1995). Современные данные нейрогенеза у взрослых организмов позволяют предположить, что таким резервом являются стволовые клетки, которые в процессе обучения дифференцируются и встраиваются в нейронную сеть (Соколов, Незлина, 2003).

Однако эксперименты на животных не позволяют сказать, связаны ли вновь образованные нейроны

с сознанием. Были необходимы опыты на человеке. Лицам, страдающим эпилепсией, с целью поиска эпилептического очага были вживлены электроды в области медиальной височной коры, и производилась регистрация спайковой активности нейронов. Для выявления нейронов долговременной памяти пациентам предъявлялись портреты хорошо известных лиц. В результате были найдены клетки, избирательно реагирующие на определенное лицо (Kreiman et al., 2002). В работе Г. Креймана с соавт. подробно описан нейрон, избирательно реагирующий только на портрет президента Билла Клинтона. Клетка не отвечала ни на один из 49 других портретов. Важным достоинством работы является то, что в ней применялась бинокулярная стимуляция, позволяющая нанесением на другой глаз конкурирующего изображения подавлять прежнее основное восприятие. Этот метод показал, что спайковый разряд нейрона, длющийся в течение всего времени предъявления портрета президента, прекращается, как только в восприятии возникает конкурирующий стимул. Авторы работы заключают, что разряд отдельного нейрона коррелирует с возникающим восприятием. Описанные выше данные показывают, что восприятие определенного знакомого лица сопровождается спайковой активностью специфического нейрона (гностической единицы). Спайковая активность такого нейрона, «узнающего» портрет президента, длится в течение всего времени, пока сохраняется его восприятие. Одновременно со сменой восприятия при предъявлении контрлатеральному глазу геометрической

фигуры спайковая активность «гностического нейрона» прекращается. Не реагируя на портреты других лиц, нейрон отвечал на разные фотографии с изображением президента, демонстрируя инвариантность восприятия определенного человека.

Аналогичным образом организованы модули слуховой системы «что?» и «где?». Рассмотрим модуль локализации источника звука системы «где?» и модуль восприятия фонем системы «что?». Информацию о локализации источника звука слуховая система извлекает из бинауральной разности интенсивностей и бинаурального фазового сдвига акустических колебаний. Первым звеном после рецепторов улитки являются нейроны-преддетекторы, непосредственно с сознанием не связанные, но образующие нейронный базис дальнейшего кодирования направления звука. Восприятие направления, где находится источник звука, определяется детекторами направления, расположенными в слуховой коре. Поражение этих нейронов ведет к невозможности определить направление, откуда исходит звуковой сигнал, хотя восприятие громкости и высоты тона не изменяется, поскольку они определяются другими модулями. Не нарушается и восприятие фонем, представленных специальным модулем слуховой коры в центре Вернике. Поражение фонематического модуля ведет к нарушению восприятия речи (сенсорной афазии), не затрагивая ни модуля восприятия высоты тона, ни модуля восприятия направления звука. Пирамидная структура слуховых модулей проявляется в том, что при поражении верхних этажей пирамиды

нейроны нижних этажей продолжают функционировать.

Исследование нейронов говорящих птиц показало, что их слуховая система содержит нейроны, приобретающие фонематическую избирательность человеческой речи в процессе обучения (Николлс и др., 2003). Фонематические гностические единицы удалось зарегистрировать в слуховой коре человека. Как отмечает О. Кройцфельдт (Creutzfeldt, 1993), сенсорная афазия является результатом поражения этих фонематических гностических единиц.

Модульная организация нейронов сознания позволяет объяснить нарушение строгой анатомической локализации функций. Нейроны, принадлежащие разным модулям, могут анатомически перекрываться. При этом нейроны, входящие в разные модули, функционируют независимо. Однако поражения зон перекрытия модулей могут вызвать сложные комбинации функциональных нарушений (Лурия, 1976).

Нейроны интенций

Важнейшей функцией сознания является планирование действий. В этом случае осуществлению действия предшествует формирование намерения. Намерение основано на работе специфических нейронов интенций префронтальной коры. Особенностью нейронов интенций является то, что в них интегрируются сигналы представления цели действия и сигналы представления плана реализации действия. Нейроны интенции принадлежат к рабочей памяти; отдел рабочей памяти кодирует связи объекта и действия. Нейроны интен-

ций нельзя отнести ни к собственно афферентным, ни к собственно эфферентным нейронам. Они активируются при определенной комбинации специфического следа объекта и подготовки к воздействию на этот еще не появившийся объект и селективны в отношении комбинаций «представление — программа действия». Нейроны интенций были названы Дж. Ризолатти (Rizolatti, 1998) «зеркальными нейронами» в связи с тем, что были обнаружены при осуществлении обезьяной подражательного жеста, воспроизводящего движение другого животного. В дальнейшем было показано существование нейронов, селективных в отношении специфической комбинации предстоящего действия, связанного с определенным объектом. Так, при движении передней конечности обезьяны в направлении цилиндра активируется определенный зеркальный нейрон. Если же движение планируется направить на куб, то перед осуществлением движения активирован будет другой зеркальный нейрон. Активация зеркальных нейронов или нейронов интенции имеет место до начала реализации движения. Само осуществление движения происходит путем подключения «зеркальных нейронов» к командным нейронам, реализующим при их активации движение через премоторные и моторные нейроны. Если нейрон интенции находится на вершине исполнительной пирамиды, то командный нейрон, премоторные нейроны и моторные нейроны образуют расширенное основание пирамиды, определяющее реакцию.

Иерархические пирамиды функционируют и в семантических струк-

турах. Характерной чертой семантических нейронов является то, что они могут активироваться не только внешним стимулом, как в операции названия знакомого объекта, но и посредством ассоциации: от представления (активированные нейроны долговременной памяти) к значению (активация семантического нейрона). По данным О. Кройцфельда (Creutzfeldt, 1993), кроме детекторов фонем, в онтогенезе формируются нейроны, избирательно реагирующие на слоги, слова и сочетания слов. Зеркальные нейроны артикуляции, видимо, формируются при актах артикуляции, когда моторный паттерн сопровождается акустическими сигналами самого говорящего. Самокоррекция речи происходит путем сличения акустического сигнала с его следом в долговременной памяти. Сигнал ошибки формируется в фазических ON-OFF-нейронах, вычисляющих степень различия памятного следа и актуального звучания. Под влиянием сигнала различия происходит перестройка зеркальных нейронов, направленная на достижение совпадения акустического сигнала с памятным следом. Семантическое содержание речевого сигнала определяется тем набором нейронов долговременной памяти, которые активируются семантическим нейроном на экране памяти по принципу «сверху вниз».

Внутриклеточный механизм сознания

Приняв концепцию специфических нейронов сознания и собрав свидетельства о связи отдельных нейронов не только с восприятием элемен-

тарных признаков, но и сложных объектов, мы оказываемся перед новой проблемой: каков механизм сознания, реализуемый отдельным нейроном? Приходится допустить, что в нейронах сознания экспрессируется уникальный набор генов, продукты которых образуют внутриклеточный механизм сознания. По этому пути пошел С. Хамерофф (Hameroff et al., 1993), предложивший квантовый механизм сознания. С. Хамерофф предположил, что отдельные микротрубочки, образующие цитоскелет каждой клетки, включая нейроны новой коры, представляют собой световоды, по которым без потерь распространяется лазерное излучение, создаваемое разностью энергетических уровней электронов двух типов молекул тубулина — белка, образующего микротрубочки. Концепция квантового механизма информационных процессов в цитоплазме нейрона была далее развита, и в нее включено представление о решетке параллельных микротрубочек — тубул, соединенных «мостиками» из специфического белка, ассоциированного с микротрубочками (MAP — microtubul associated protein). Отдельные микротрубочки связаны с локальными постсинаптическими участками, через которые информация поступает в сеть микротрубочек, образующих аналог нервной системы внутри одного нейрона. Следует сказать, что обычно цитоскелет нейрона рассматривается как средство активного транспорта макромолекул. Оригинальность квантовой модели функционирования цитоскелета заключается в том, что при сохранении за микротрубочками макроэнергетической функции активного

транспорта молекул белка им придается квантовомеханическая информационная функция. Гипотеза Хамероффа о микротрубочках как световодах лазерного излучения была развита другой группой исследователей (Hagans et al., 1993). Ими был предложен механизм лазерного излучения, заменяющий первоначальную «накачку» суммацией зарядов молекул воды вдоль микротрубочки. На основе теории Дайка (Dicke, 1954) авторы пришли к заключению, что суммарный заряд вдоль микротрубочки способен превратить случайные переходы электронов с одного энергетического уровня на другой в упорядоченный процесс, обеспечивающий генерацию когерентного излучения. При этом микротрубочка обеспечивает нелинейный эффект «сверхпрозрачности». Выключение сознания при анестезии (наркозе) с этой точки зрения основано на изменении свойств молекул воды, препятствующем генерации когерентного излучения.

Привлекательность гипотезы о квантовой природе механизма сознания связана прежде всего с тем, что она поддается экспериментальной проверке с использованием всего арсенала методов современной физики. Однако эта теория содержит в себе внутреннее противоречие. Цитоскелет, состоящий из микротрубочек, связанных между собой белком MAP, характеризует все клетки — от парameций до нейронов высших отделов головного мозга. Это предлагает альтернативу: либо признать сознание общим свойством всех клеток, либо продолжать поиск специфических внутриклеточных механизмов «нейронов сознания». В послед-

нем случае нельзя ограничиться ссылкой на общий квантовый механизм информационных процессов в цитоскелете нейрона, а необходимо определить специфику тех квантовых процессов, которые характеризуют именно нейроны сознания. Исследования, проводимые на этом пути, должны учитывать такую особенность нейронов сознания, как их зависимость от работы активирующей и синхронизирующей систем мозга. Так, отключение активирующей системы ствола мозга ведет к глобальному отключению сознания. С позиций гипотезы о специфических нейронах сознания это предполагает зависимость всех нейронов сознания от притока активирующих влияний ствола мозга. Изучение механизма этих влияний может помочь открыть искомую специфичность нейронов сознания. Естественной моделью потери сознания служит переход к медленноволновому сну. Восстановление сознания может быть в двух формах: 1) пробуждение; 2) переход к парадоксальному сну, в котором активация коры сопровождается торможением произвольных действий. В последнем случае сознание проявляется в виде сновидений, яркость которых может соперничать с восприятием в состоянии бодрствования. При этом характерной особенностью сновидений является их непроизвольность и хаотичность. Здесь мы сталкиваемся с проблемой взаимодействия нейронов сознания, выходящей за рамки рассмотренной нами проблемы их иерархических отношений. Отличие сознания в состоянии бодрствования от сознания в виде сновидений в парадоксальном сне можно связать с торможением

нейронов интенций, приводящим к невозможности как произвольных движений, так и произвольного управления течением сновидений. При этом у единого в состоянии бодрствования механизма сознания при парадоксальном сне парализуется его «интенциональная» часть. Пристальный анализ реакций нейронов височной коры, избирательно реагирующих на портрет президента Клинтона, показывает, что этот нейрон реагирует не на один портрет, а на самые разные портреты того же президента, не отвечая на предъявление фотографий других известных испытуемому лиц (Kreiman, 2002).

Как объяснить такую инвариантность ответов одного нейрона? В работах Э. Роллса (Rolls, 2001) инвариантность ответов отдельных нейронов на разные ракурсы одного и того же лица объясняется механизмом распределенной памяти. Альтернативной гипотезой является предположение, согласно которому одна гностическая единица может удерживать большое число зрительных паттернов, которые могут активироваться селективно в зависимости от стимуляции на входе. Такое предположение ставит вопрос о механизме множественного следообразования в пределах одного нейрона. Предположение о синаптических механизмах этого процесса встречается с затруднением, связанным с идентичностью спайкового разряда при предъявлении всех вариантов портретов данного лица. Приходится предположить, что каждой конstellляции активированных синапсов одного нейрона соответствует специфическое состояние этого нейрона, связанное с определенным образом. Какой ме-

ханизм лежит за этим разнообразием образов внутри одного нейрона?

Ответ на этот вопрос связан с поиском внутриклеточных структур, образующих «нейроноподобную сеть» внутри отдельного нейрона. Такими структурами являются прежде всего микротрубочки цитоскелета. Синаптический «узор», возникающий при действии стимула на гностической единице, преобразуется в определенный рисунок из микротрубочек и ассоциированного с микротрубочками протеина (МАР). Осознанное восприятие определенного объекта возникает тогда, когда активируется соответствующий набор из трубочек и связок МАР. Активация микротрубочек связана с когерентным излучением, обусловленным разным энергетическим уровнем электронов, возникающим при взаимодействии молекул воды с молекулами тубулина, образующего стенку микротрубочек. Это специфическое квантово-механическое излучение может являться внутринейронным механизмом сознания. Запоминание образов в пределах одного нейрона предположительно заключается в возникновении специфических конфигураций из микротрубочек и белка МАР в результате синаптически вызванных локальных трансформаций молекул тубулина и МАР. Эти длительно удерживающиеся трансформации образуют механизм долговременной памяти, приводя к когерентному излучению в этой системе трубочек при последующем действии зафиксированного в памяти стимула.

Отдавая предпочтение гипотезе о нейронах сознания, нельзя игнорировать другой подход к проблеме, рассматривающий сознание как результат системного взаимодействия нейронов, основанного на их ритмической активности. Сопоставление внутриклеточных механизмов отдельного нейрона с их системной организацией послужит важным фактором в прогрессе изучения сознания.

Заключение

Подводя итоги, можно признать, что гипотеза о специфических «нейронах сознания» требует перехода к изучению тех специфических внутриклеточных механизмов, которыми эти нейроны обладают. Одним из возможных внутриклеточных механизмов сознания может служить квантовый механизм когерентных излучений в цитоскелете нейрона. Однако и на этом пути возникает вопрос о специфичности этих процессов у нейронов сознания. Перспективным направлением исследований представляется изучение свойств нейронов при переходе от бодрствования к медленноволновому сну и при развитии сновидений в парадоксальном сне. Новые возможности открываются при изучении состояний сознания методом функциональной магнитно-резонансной томографии с использованием выключения сознания при медленноволновом сне и развитии сновидений в парадоксальном сне.

Литература

- Иваницкий А.М., Стрелец В.Б., Корсаков И.А.* Информационные процессы мозга и психическая деятельность. М.: Наука, 1984.
- Корочкин Л.И., Михайлов А.Т.* Введение в нейрогенетику. М.: Наука, 2000.
- Лурия А.Р.* Основы нейропсихологии. М.: Изд-во МГУ, 1976.
- Николлс Дж. Г., Мартин А.Р., Валлас Б.Дж., Фукс П.А.* От нейрона к мозгу. М.: Едиториал УРСС, 2003.
- Сварник О.Е., Анохин К.В., Александров Ю.И.* Распределение поведенчески специализированных нейронов и экспрессия транскрипционного фактора c-Fos в коре головного мозга крыс при научении // Журн. высш. нервн. деят. 2001. Т. 1. № 6. С. 758–761.
- Соколов Е.Н.* Проблема гештальта в нейробиологии // Журн. высш. нервн. деят. 1996. Т. 46. № 2. С. 229–240.
- Соколов Е.Н., Незлина Н.И.* Долговременная память, нейрогенез и сигнал новизны // Журн. высш. нервн. деят. 2003. Т. 53. № 4. С. 451–463.
- Швырков В.Б.* Введение в объективную психологию: нейронные основы психики. М.: ИП РАН, 1995.
- Шредингер Э.* Разум и материя. М.; Ижевск: РХД, 2000.
- Creutzfeldt O.D.* Cortex cerebra performance, structural and functional organization of the cortex. Gottingen: Springer-Verlag, 1993.
- Dicke R.H.* Coherence in spontaneous radiation processes // Phys. Rev. 1954. V. 93. P. 99–110.
- Edelman G.* Neural Darwinism: The Theory of Neuronal Group Selection. N.Y.: Basic Books, 1987.
- Edelman G.M.* Naturalizing consciousness: A theoretical framework // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2003. V. 100. № 9. P. 5520–5524.
- Ehrenstein W., Spillman L., Sarris V.* Gestalt issues in modern neurosciences // Axiomathes. 2003. V. 13 (Preprint).
- Hagak S., Hameroff S.R., Tuszinski J.A.* Quantum computation is brain microtubules: decoherence and biological feasibility // Phys. Rev. E. Stat. Nonlin. Soft Matter Phys. 2002. V. 65. № 6. P.1.
- Hagans S., Jibu M., Yasue K.* Consciousness and anesthesia: a hypothesis involving biophoton emission in the microtubular cytoskeleton of the brain // Pribram K.H. (Ed.) Organs brain and selforganization. Hillsdale: Laurence Erlbaum, 1993. P. 154–171.
- Hameroff S., Dayhoff J.E., Lahoz-Bettra R., Rasmussen S., Insinna E.M., Kornga D.* Nanoneurology and the Cytoskeleton: Quantum Signaling and Protein Conformational Dynamics as Cognitive Substrate // Pribram K.H. (Ed.) Rethinking neural networks: Quantum fields and biological data. Hillsdale: Laurence Erlbaum, 1993. P. 318–376.
- Hameroff S., Nip A., Porter M., Tuszinsky J.* Conduction pathway in microtubules, biological quantum computation, and consciousness // Biosystems. 2002. V. 64. № 1–3. P. 149–168.
- Hubel D.H., Wiesel T.N.* Brain mechanisms of vision // Sci. Am. 1979. V. 241. P. 130–144.
- Konorski J.* Integrative activity of the brain: an interdisciplinary approach. Chicago: Chicago Univ. Press, 1967.
- Kreiman G., Fried J., Koch G.* Single-neuron correlates of subjective vision in the human medial temporal lobe // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2002. V. 99. № 12. P. 8378–8383.
- Lutz A., Lachaux J.P., Martenerie J., Varelat F.J.* Guiding the study of brain dynamics by using first-person data: syn-

- chrony patterns correlate with ongoing conscious states during a simple visual task // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2001. V. 99. № 3. P. 1586–1591.
- Marinkovic K., Trebon P., Chanvel P., Halgren E.* Localized face processing by the human prefrontal cortex // Cognit. Neuropsychol. 2000. V. 17 (1, 2, 3). P. 187–199.
- Miyashita Y., Sakai K., Higuchi S., Maski N.* Localization of prime long-term memory in the primate temporal cortex // Squire L.R., Weinberger N.M., Lynch G., McGaugh T.L. (Eds.) Memory organization and locus of change. Oxford: Oxford Univ. Press, 1991. P. 239–249.
- Ojemann G.A.* The neurobiology of language and verbal memory: observation from awake neurosurgery // Int. J. Psychophysiol. 2003. V. 48. № 2. P. 141–146.
- Rizzolatti G., Craighero L.* Spatial attention: mechanisms and theories // Sabourin M., Craik F., Robert M. (Eds.) Advances of Psychological Science. V. 2. Biological and Cognitive Aspects. Hove: Psychological Press, 1998. P. 171–189.
- Rolls E.* Functions of the primate temporal lobe cortical visual areas in invariant object and face recognition: computational mechanisms // Musio C. (Ed.) Vision. The approach of biophysics and neurosciences. Singapor: World Scientific, 2001. P. 396–408.
- Rolls E.T.* Memory system in the brain // Ann. Rev. Psychol. 2000. V. 51. P. 599–630.
- Roy J.E.* The neurophysics of consciousness // Brain Research Rev. 2002. V. 39. P. 1–28.
- Spillman L., Lascowski W., Lange K.W., Schmidt D.* Stroke-blind for colors, faces and locations: partial recovery after three years // Restorative Neurology and Neuroscience. 2000. V. 17. P. 1–15.
- Wolf N.J., Hameroff S.R.* Quantum approach to visual consciousness // Trends in Cognitive Science. 2001. V. 5. № 11. P. 172–178.