

ОБЩАЯ ПСИХОЛОГИЯ И ПСИХОЛОГИЯ ЛИЧНОСТИ

УДК 612.821.3

ПРОБЛЕМА СОЗНАНИЯ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОБЛЕМЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ю.В. Бушов (Томск)

Аннотация. Обсуждаются современные подходы к проблеме сознания и перспективы дальнейших исследований в этой области. В качестве одного из перспективных подходов к этой проблеме рассматривается изучение внутри- и межполушарных фазовых связей между ритмами ЭЭГ. Обосновывается гипотеза о том, что фазовые взаимодействия между ритмами ЭЭГ играют ключевую роль в когнитивных процессах и механизмах сознания.

Ключевые слова: механизмы сознания; фазовые взаимодействия; ритмы ЭЭГ.

Сознание является одним из самых сложных и наименее изученных проявлений деятельности мозга. В настоящее время отсутствует общепринятое определение сознания. Под сознанием, в частности, понимают высший уровень психического отражения и саморегуляции, присущий человеку как общественно-историческому существу. Такое определение сознания дается в психологическом словаре.

Что же такое сознание? Какая связь существует между мозгом и сознанием? Каковы нервные механизмы сознания? Присуще ли сознание только человеку или элементы сознательного поведения свойственны и другим животным?

Эти вопросы издавна привлекали внимание исследователей: философов, биологов, психологов и др. За последние 30–40 лет проблема сознания из разряда умозрительных, отвлеченных проблем превратилась в актуальную междисциплинарную естественнонаучную проблему. Наметились и определенные подходы к ее решению.

Согласно современным представлениям сознание связано со сложными нейронными сетями и не может существовать в отрыве от них. Считается, что в процессе эволюции сознание развивалось параллельно с развитием нервной системы, в животном мире существует множество самых разных уровней и форм сознания, а человек лишь обладает наиболее сложной его разновидностью.

В процессе становления взглядов на природу сознания сформировались три основные концепции: «светлого пятна», «информационного синтеза» и коммуникативная концепция сознания.

Согласно первой концепции, предложенной И.П. Павловым в 1913 г., сознание связано с деятельностью «творческого участка» коры, находящегося в состоянии оптимальной возбудимости, где легко образуются новые условные связи и дифференцировки. Остальные зоны коры участвуют в обеспечении уже сформированных рефлексов и бессознательной деятельности. Концепция «светлого пятна» получила дальнейшее развитие в одной из новейших теорий внимания – теории «прожектора», которая была предложена одним из авторов открытия спирального строения ДНК, Френсисом Криком. Согласно этой теории вся информация поступает в мозг через специфические, или релейные, ядра, расположенные в дорзальном таламусе. Активность этих ядер регулируется ретикулярным комплексом, который расположен в вентральном таламусе.

Взаимодействия между указанными отделами таламуса построены таким образом, что в каждый момент времени только одна группа нейронов дорзального таламуса, находится в состоянии высокой возбудимости и усиленный поток нервных импульсов, проходящих через эту группу нейронов, направляется в определенную зону коры. Период такой высокой возбудимости длится около 100 мс, затем возбуждение охватывает другую группу нейронов дорзального таламуса, и усиленный поток импульсов, как луч прожектора, направляется в другую зону коры, которая является в данный момент центром внимания. Постоянные перемещения «луча прожектора» и синхронизация активности нейронов на определенной частоте обеспечивают функциональное объединение пространственно удаленных популяций нейронов, включение их в совместную деятельность. По мнению Френсиса Крика, указанные процессы могут играть существенную роль не только в механизмах внимания, но и в механизмах сознания.

Вторая концепция, концепция «информационного синтеза», была предложена А.М. Иваницким в 1976 г. Согласно этой концепции важную роль в механизмах сознания играют кольцевое движение нервных импульсов по замкнутым круговым путям, повторный вход информации в одни и те же мозговые структуры и синтез разных видов информации.

Идея повторного входа информации в одни и те же мозговые структуры как нейрофизиологической основы сознательного поведения получила свое развитие и в работах зарубежных исследователей, в частности, в исследованиях Джулио Тонони и Джеральда Эдельмана [17].

Третья концепция, коммуникативная концепция сознания, была впервые сформулирована П.В. Симоновым в 1981 г. Согласно этой концепции сознание возникло в процессе эволюции на базе потребности к общению и передаче знаний, а также коллективной деятельности людей. В настоящее время эти концепции в значительной степени утратили свою актуальность.

В 2002 г. Джонджо МакФадденом [16] была предложена так называемая электромагнитная теория сознания, которая базируется на предположении о том, что материальным носителем сознания является электромагнитное поле мозга. В этой теории важная роль в механизмах сознания отводится дистантным «полевым» взаимодействиям между нейронами, в частности, синхронному запуску нейронов. Существенным недостатком этой теории является то, что из-за отсутствия в общем случае единственного решения обратной задачи физики активация различных мозговых структур или их комбинаций может создавать совершенно одинаковые электромагнитные поля. Это означает, что разные состояния мозга и сознания будут неотличимы по характеристикам электромагнитного поля.

В 2005 г. в Институте Мозга и Сознания политехнического университета Лозанны (Швейцария) были начаты работы по проекту Blue Brain Project. Главной целью проекта явилось создание компьютерной модели головного мозга млекопитающих. В процессе исследований был использован метод обратного проектирования, т.е. вначале были получены модели нескольких типов нейронов, а затем из них сконструировали нейрональную колонку коры крысы. В процессе предварительных исследований было проанализировано большое количество срезов головного мозга крысы, выделены и описаны 6 типов нейронов и их связи между собой. Все синапсы были классифицированы в зависимости от удаленности от тела нейрона и по расположению на отростках нейрона. Компьютерное моделирование позволило исследователям создать статистическую модель структуры связей небольшого участка коры крысы, который включал 298 корковых нейронов, относящихся к 6 типам клеток. Оказалось, что разработанная модель описывает почти 75% связей между нейронами, обнаруженных в реальном мозге.

Сходный проект, рассчитанный на 5 лет (2009–2013 гг.), под названием «Human Connectom Project» был реализован в США. Целью этого проекта явилось создание наиболее полного описания структуры связей (коннектома) и закономерностей работы нейронных сетей человеческого мозга, попытка связать особенности структуры мозга со способностями и поведением человека. В ходе реализации проекта использовались все доступные методы сканирования мозга, прежде всего магнитно-резонансная томография с максимально возможным разрешением. Составлялись структурные и функциональные карты мозга. Проводился сбор персональных данных здоровых лиц и больных, страдающих различными психическими заболеваниями (генетическая карта, особенности поведения, результаты тестирования моторных и сенсорных навыков, характеристики интеллекта, памяти и др.).

В 2013 г. стартует новый международный исследовательский проект под названием Human Brain Project, рассчитанный на 10 лет.

Целью этого амбициозного проекта является создание достаточно полной компьютерной модели мозга человека. В реализации его примут участие ряд европейских стран, а также США, Израиль и некоторые другие страны. По мнению специалистов, для создания такой модели потребуются высокопроизводительные компьютеры, совершающие до 10^{18} операций в секунду, которых в настоящее время нет. При создании компьютерной модели мозга предполагается использовать принцип моделирования «снизу вверх»: от молекулярно-клеточного уровня до мини-, макро- и мезо-цепей нейронов, различных отделов и целого мозга. Необходимо отметить, что не все исследователи оптимистично оценивают возможности данного проекта. По их мнению, созданная модель может оказаться настолько подробной и сложной, что изучить ее будет так же трудно, как и реальный мозг.

Одним из перспективных подходов к исследованию мозга и его высших психических функций является изучение когнитивного человеческого мозга. Идея такого подхода была предложена К.В. Анохиным в 2012 году. Этот подход базируется на теории функциональных систем и является дальнейшим развитием этой теории.

По мнению К.В. Анохина, «хранителями» индивидуального когнитивного опыта являются так называемые коги, представляющие собой распределенные нейросети. Он выделяет несколько типов когов: хи-, пси- и фи-коги, которые связаны с разными видами памяти: процедурной, семантической и эпизодической. Множество когов в совокупности образуют когнитивный опыт. Показано, что с помощью молекулярно-генетических и электрофизиологических методов возможно картирование мозга, а также изучение процессов формирования и извлечение индивидуального когнитивного опыта.

Одним из важных аспектов проблемы сознания является выяснение механизмов функционального объединения нейронов в процессе осуществления сознательной деятельности. В работах М.Н. Ливанова и его учеников [6, 7, 11, 12] показана важная роль в этих процессах пространственной частотной синхронизации электрической активности мозга.

Функциональное объединение нейронов в этом случае может осуществляться путем навязывания, раскачки, подстройки и сближения ритмов активности нейронных популяций. Однако такой механизм функционального объединения нейронов невозможен, если собственные частоты ритмической активности осцилляторов (нейронных популяций, нейросетей) значительно различаются. Важную роль в функциональном объединении нейронов могут играть фазовые взаимодействия между отдельными осцилляторами, которые, вероятно, проявляются во взаимодействии между разными ритмами ЭЭГ. Функциональное объединение нейронов может осуществляться низкочастотной модуляцией одной популяцией нейронов высокочастотной активностью другой. Вместе с тем роль указанных фазовых взаимодействий в функ-

циональном объединении нейронов, в когнитивных процессах и механизмах сознания в значительной степени остается неясной.

Для выяснения роли указанных фазовых взаимодействий в когнитивных процессах и механизмах сознания в лаборатории высшей нервной деятельности НИИ биологии и биофизики и на кафедре физиологии человека и животных Томского государственного университета были предприняты специальные исследования. Эти исследования позволили обнаружить существование внутри- и межполушарных фазовых связей между ритмами ЭЭГ у человека при восприятии коротких интервалов времени [2, 3]. Чаще всего (примерно в 60–70% случаев) тесные фазовые связи наблюдаются между гамма-ритмом частотой от 30 до 80 Гц и низкочастотными составляющими ЭЭГ (0,5–30 Гц), а также между разными частотами гамма-ритма.

Дисперсионный анализ показал, что на указанные фазовые взаимодействия статистически значимое влияние оказывают факторы «пол», «вид» и «этап деятельности» [2, 3].

Обнаружены статистически значимые корреляции между уровнем исследуемых фазовых взаимодействий и точностью восприятия времени, а также показателями интеллекта, экстраверсии, нейротизма и латеральной организации мозга, от которых существенно зависит успешность когнитивной деятельности [5, 9]. Оказалось, что характер обнаруженных корреляций отличается у юношей и девушек; зависит от вида и этапа выполняемой деятельности [2, 3].

В целом, проведенные исследования показали, что изучаемые фазовые взаимодействия информативны. Они отражают и вид, и этап выполняемой деятельности, и индивидуальные особенности человека. Полученные результаты и некоторые литературные данные позволили нам предложить гипотезу о том, что фазовые взаимодействия между ритмами ЭЭГ играют ключевую роль в когнитивных процессах и механизмах сознания. Эта гипотеза впервые была опубликована нами в 2012 г. [4]. Согласно гипотезе фазовые взаимодействия между ритмами ЭЭГ обеспечивают функциональное объединение нейронов, кодирование, сжатие и координацию нейронных сообщений в мозге и могут быть не только результатом синаптического облегчения, но также дистантных «полевых» взаимодействий между нейронами. Предполагается, что каждому состоянию мозга и сознания соответствует определенный фазовый паттерн, являющийся характерным коррелятом сознания, а потеря сознания сопровождается редукцией фазовых связей. Особую роль в формировании указанных фазовых взаимодействий, по видимому, играет гамма-ритм, который, по нашему мнению, выполняет роль несущей частоты нейронных сообщений, на которую накладываются медленные дельта-, тета-, альфа- и бета-волны.

Предполагается, что решающую роль в формировании дистантных «полевых» межнейронных взаимодействий и сознания сыграло

появление в процессе эволюции мозга многослойной коры с ее вертикально-колончатой организацией. Это связано с тем, что при такой пространственной организации коры создаются наиболее благоприятные условия для формирования дистантных «полевых» межнейронных взаимодействий, которые могут обеспечивать высокую скорость передачи сигналов в мозге и в конечном итоге высокую мобильность процессов внутримозговой интеграции. Важную роль в формировании указанных межнейронных взаимодействий, по-видимому, могут играть пейсмекерные нейроны, способные реагировать на слабые раздражители, которые сами по себе не могут вызывать возбуждение этих нейронов, но могут изменять частоту их спонтанной активности.

В пользу предложенной гипотезы свидетельствуют следующие данные. Методом компьютерного моделирования было показано [14], что фазовые взаимодействия между ритмами ЭЭГ могут не только обеспечивать функциональное объединение нейронов [15], но также кодирование, сжатие и координацию нейронных сообщений в мозге.

С другой стороны, по данным некоторых исследователей [16], мозг человека и животного может создавать изменяющееся электромагнитное поле напряженностью несколько десятков вольт на метр, которое способно вызывать перераспределение зарядов как на поверхности, так и внутри нейронов и таким образом изменять их активность. По мнению автора [16], ламинарная организация мозговых структур (кора, гиппокам и др.), характеризующаяся слоистым расположением нейронов, может усиливать локальные электромагнитные поля, создаваемые этими нейронами, и способствовать установлению дистантных «полевых» взаимодействий между ними. Известно также, что время задержки сигнала в химических синапсах, которые являются основным типом синапсов в ЦНС млекопитающих, составляет около 2 мс [8]. Это означает, что при прохождении сигнала через 100 таких синапсов суммарная временная задержка будет составлять примерно 200 мс, а при прохождении сигнала через 1 000 таких синапсов – уже 2 с. Трудно объяснить, каким образом наш мозг при такой низкой скорости передачи сигналов способен обрабатывать огромные потоки информации. С нашей точки зрения, полностью нельзя исключить возможность участия «полевых» межнейронных взаимодействий в формировании изучаемых фазовых связей и в механизмах сознания.

Кроме того, известно, что различные патологические состояния мозга, как правило, сопровождаются снижением спектральной мощности гамма-ритма [13], а в состоянии комы наблюдается снижение уровня когерентности ЭЭГ, которое усиливается по мере углубления этого состояния [1]. Поэтому естественно ожидать, что потеря сознания сопровождается также редукцией фазовых связей между ритмами ЭЭГ.

Таким образом, предложенная нами гипотеза не лишена оснований, но нуждается в тщательной экспериментальной проверке и уточнении.

Представляется необходимым убедиться в том, что:

1) обнаруженные закономерности фазовых взаимодействий характерны не только для восприятия времени, но и для других видов интеллектуальной деятельности;

2) потеря сознания действительно сопровождается редукцией фазовых связей;

3) существование дистантных «полевых» взаимодействий между нейронами является реальностью. На решение этих вопросов и будут направлены наши дальнейшие исследования.

В последние десятилетия проблема сознания постепенно превратилась из чисто умозрительной в естественнонаучную. Для изучения мозга и его высших психических функций используются самые современные методы исследований: томографические, электрофизиологические, молекулярно-генетические, компьютерное моделирование и др.

К проведению этих исследований привлекаются значительные интеллектуальные и материальные ресурсы. Достаточно сказать, что на проект «Human Brain» только США планирует выделить около 100 миллионов долларов, а страны Евросоюза – более миллиарда евро.

Все это позволяет надеяться, что в ближайшие 10–15 лет в решении проблемы сознания будут достигнуты значительные успехи.

Литература

1. *Биопотенциалы* мозга человека. Математический анализ / под. ред. В.С. Русинова. М. : Медицина, 1987. 256 с.
2. *Бушов Ю.В., Светлик М.В., Крутенкова Е.П.* Гамма-активность коры головного мозга: связь с интеллектом и точностью восприятия времени // *Физиология человека*. 2010. Т. 36, № 4. С. 1–7.
3. *Бушов Ю.В., Светлик М.В., Крутенкова Е.П.* Межполушарные фазовые взаимодействия между высоко- и низкочастотными ритмами ЭЭГ при восприятии коротких интервалов времени // *Вестник ТГУ. Биология*. 2011. № 3 (15). С. 161–171.
4. *Бушов Ю.В.* Роль фазовых взаимодействий между высоко- и низкочастотными ритмами ЭЭГ в когнитивных процессах и механизмах сознания // *Сибирский психологический журнал*. 2012. № 45. С. 98–103.
5. Вольф Н.В. Половые различия функциональной организации процессов полушарной обработки речевой информации. Ростов н/Д : ЦВВР, 2000. 240 с.
6. *Думенко В.Н.* Высокочастотные компоненты ЭЭГ и инструментальное обучение. М. : Нука, 2006. 151 с.
7. *Ливанов М.Н.* Пространственная организация процессов головного мозга. М. : Наука, 1972. 181 с.
8. *Николос Дж.Г., Мартин А.Р., Валлас Б.Дж., Фукс П.А.* От нейрона к мозгу. 2-е изд. М. : Изд-во ЛКИ, 2008. 672 с.
9. *Разумникова О.М.* Отражение личностных свойств в функциональной активности мозга. Новосибирск : Наука, 2005. 135 с.
10. *Свидерская Н.Е.* Синхронная электрическая активность мозга и психические процессы. М. : Наука, 1987. 156 с.

11. Свидерская Н.Е., Королькова Т.А. Влияние свойств нервной системы и темперамента на пространственную организацию ЭЭГ // Журнал высшей нервной деятельности. 1996. Т. 46, № 5. С. 849–858.

12. Свидерская Н.Е., Королькова Т.А. Пространственная организация электрических процессов мозга: проблемы и решения // Журнал высшей нервной деятельности. 1997. Т. 47, № 5. С. 792–811.

13. Сорокина Н.Д., Селицкий Г.В., Косицин Н.С. Нейробиологические исследования биоэлектрической активности мозга в диапазоне гамма-ритма у человека // Успехи физиологических наук. 2006. Т. 17, № 3. С. 3–10.

14. Цукерман В.Д. Математическая модель фазового кодирования событий в мозге // Математическая биология и биоинформатика. 2006. Т. 1, № 1. С. 97.

15. Freeman W.J. Mesoscopic neurodynamics: From neuron to brain // J. physiol. (France). 2000. Vol. 94, № 5/6. P. 303–322.

16. McFadden J. Synchronous Firing and Its Influence on the Brain's Electromagnetic Field: Evidence for an Electromagnetic Field Theory of Consciousness // J. of Consciousness Studies. 2002. Vol. 9, № 4. P. 23–50.

17. Tononi Giulio and Edelman Gerald Consciousness and Complexity // Science. 4 December 1998. Vol. 282. P. 1846–1851.

CONSCIOUSNESS PROBLEM: MODERN APPROACHES TO THE PROBLEM AND PROSPECTS OF RESEARCHES

Bushov Y.V. (Tomsk)

Summary. Modern approaches to a problem of consciousness and prospect of the further researches in this area are discussed. As one of perspective approaches to this problem studying intra- and interhemispheres phase communications between rhythms EEG is considered. The hypothesis that phase interactions between rhythms EEG play a key role in cognitive processes and consciousness mechanisms is proved.

Key words: consciousness mechanisms; phase interactions; rhythms EEG.