

ту с международным участием КИИ-2008: Труды конференции. Т. 1. М., 2008.

Александров Ю. И. Системогенез и смерть нейрона // Нейрохимия. 2004. Т. 21. № 1. С. 5–14.

Александров Ю. И. Научение и память: традиционный и системный подходы // Журнал выс-

шей нервной деятельности. 2005. Т. 55. Вып. 62. С. 1179–1189.

Швырков В. Б. Введение в объективную психологию. Нейрональные основы психики. Избранные труды / Под ред. Ю. И. Александрова. М., 2006.

НЕКОТОРЫЕ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЖСИСТЕМНЫХ ОТНОШЕНИЙ В ПОВЕДЕНИИ¹

Б. Н. Безденежных (Москва)

Постановка проблемы¹

В психофизиологии основными методами исследования активности мозга, лежащей в основе поведения и деятельности, продолжают оставаться методы сопоставления показателей этой активности с гипотетическими психическими или информационными процессами, обеспечивающими или сопровождающими поведение. Однако прямое сопоставление показателей физиологических и психических процессов мало продуктивно и запутывает психофизиологическую проблему. Успешность психофизиологического исследования поведения зависит от корректности выделения единиц поведения и описания мозговых механизмов, связанных с активностью единиц. П. К. Анохин считает универсальной единицей поведения функциональную систему (ФС). В основе формирования ФС лежат эволюционные и биологические предпосылки, а сами системы представляют собой единство психологического и физиологического (Анохин, 1978; Швырков, 1978; Пономарев, 1982). В структуре поведения эти системы выступают в качестве психофизиологических механизмов реализации ее действий и поведенческих актов (Асмолов, 1979). Каждая ФС формировалась и встраивалась в индивидуальный опыт на определенном этапе жизнедеятельности организма не изолировано, а во взаимодействии с уже существующими системами. Отсюда и реализация индивидуального опыта в виде определенной формы поведения и сопутствующих ему психических (когнитивных) процессов обеспечивается активностью целого набора ФС в их взаимодействии.

Взаимодействие ФС вовне проявляется в виде регистрируемой двигательной и мозговой активности, а внутренним содержанием этого взаимодействия являются психические процессы (Швырков, 2006). Следовательно, изучение механизмов взаимодействия между системами является актуальным.

Задачей исследования было выявление мозговых механизмов, позволяющих функциональ-

ным системам объединяться друг с другом и вовлекаться в межсистемные взаимодействия.

Если исходить из того, что началом активности каждой ФС является афферентный синтез (АС) и системы обеспечивают поведение только во взаимодействии друг с другом, то можно высказать гипотезу, что они соединяются друг с другом во время общего АС (Безденежных, 2004).

Доказательства этого предположения имеются в работах с регистрацией нейронной активности у обезьян, выполнявших точностные действия (Averbeck et al., 2002; Desmurget et al., 1998; Dorris et al., 2000). Эти действия начинаются с саккадических движений глаз (СДГ) на мишень и заканчиваются быстрым указательным движением пальца в ее сторону. Показано, что нейроны, включенные в системы, обеспечивающие точностное действие, одновременно активируются перед СДГ. Предваряющая активность этих нейронов перед СДГ определяет особенности такого действия. Следовательно, перед СДГ в точностном действии осуществляется АС, во время которого между нейронами систем, вовлеченных в выполнение этого действия, формируются функциональные синаптические связи, и эти системы вступают между собой во взаимодействие.

Эксперимент 1: процедура исследования

Для выявления механизмов межсистемных взаимодействий в поведении мы исследовали внешние характеристики последовательных точностных действий в эксперименте, в котором испытуемые многократно и быстро печатали одним пальцем предложение без пропуска между словами. После некоторой тренировки напечатание каждой буквы в предложении начиналось с СДГ на эту букву и закачивалось ее нажатием, т. е. напечатания букв в данном эксперименте являлись точностными действиями. Мы анализировали динамику двигательных показателей (СДГ и время нажатий клавиш) при воздействии на печатание таких факторов, как смысл печатаемого предложения, тренировка и разные процедуры прерывания этого поведения.

¹ Работа поддержана грантами РГНФ № 11-06-000917а, 11-06-00082а и грантом № НШ-3010.2012.6.

В эксперименте испытуемые в разных сериях печатали цифры и четыре предложения по одной и той же траектории.

Результаты исследования

1. При печатании предложения СДГ на очередную букву происходит перед или во время нажатия предшествующей буквы. Таким образом, АС последующего действия развивается на фоне реализации текущего действия.
2. Между последовательными действиями осуществляется взаимодействие, которое проявляется в виде эффекта последовательности, т. е. влияния предшествующих действий на характеристики текущего действия. Следовательно, в АС очередного отчетного действия включаются системы текущего действия.
3. Время нажатия одной и той же клавиши при печатании разных предложений по одной и той же траектории достоверно различалось. Т. е. кроме систем, обеспечивающих СДГ, фиксацию взора на букву и ее нажатие, в АС действия напечатания букв включаются и системы, связанные со смысловым аспектом предложения.
4. В АС включаются системы, связанные с выполнением инструкций, которые получают испытуемые, причем активность этих систем может полностью изменить взаимодействие систем в АС. Например, решение о прекращении выполнения действия осуществляется во время АС этого действия. Так, если сигнал, требующий прекращения деятельности (стоп-сигнал), предъявлялся непосредственно перед АС или во время его, то это испытуемые не выполняли это действие. Если же стоп-сигнал предъявлялся после завершения АС определенного действия, то они выполняли это действие, а прекращали выполнять следующее действие. Причем момент предъявления стоп-сигнала в этих случаях испытуемые субъективно относили именно на время АС этого следующего действия. Таким образом, системы, связанные с восприятием внешних событий, включены в АС, и субъект воспринимает внешние события именно во время этого процесса.
5. В процессе тренировки печатания взаимодействия между системами меняются, что проявляется в дифференциации некоторых действий на составляющие их поведенческие акты – происходит постепенное ослабление связей между системами движений глаз и движений руки с последующим исключением из взаимодействия систем, связанных с движением глаз. Вслед за дифференциацией, происходит процесс интеграции, т. е. оставшиеся от действия системы, которые обеспечивают движение руки, включаются во время АС последующего действия в межсистемные связи с его

системами, и это действие становится много-актными.

6. При совершении ошибочного действия восстанавливаются все последовательные точностные действия, т. е. паттерн печатания, который имел место до совершенствования этого поведения, и восстанавливается АС для каждого действия.

Эксперимент 2: процедура исследования

Для исследования мозговой активности, связанной с описанными межсистемными отношениями, была использована экспериментальная модель сенсомоторного выбора, в которой можно регистрировать ЭЭГ с минимальным количеством артефактов, что невозможно было сделать при печатании. Испытуемым предъявлялись два зрительных сигнала с равной вероятностью, но в случайной последовательности; в ответ они как можно быстрее нажимали клавишу, соответствующую предъявленному сигналу. Анализировали время ответов и связанные с этими ответами электрические потенциалы мозга.

Результаты исследования

Наиболее устойчивым компонентом в потенциалах мозга является компонент Р300. Характеристики Р300 зависели от цепочки предшествующих ответов, т. е. имел место эффект последовательности. Поскольку эффект последовательности связан с прогнозированием и планированием будущих действий, что осуществляется в АС, то мы считаем, что Р300 отражает мозговые процессы, связанные с АС. Было показано, что количество объединяющихся во время АС систем отражается в характеристике Р300: чем больше систем объединяется, тем негативнее передний фронт Р300.

Эксперимент 3: процедура исследования

Сделанный выше вывод мы проверяли в экспериментах по категоризации слов. В работе исходили из *гипотезы* о том, что в процессе своего формирования каждая ФС устанавливает связи не со всеми системами индивидуального опыта, а с некоторым их набором. Этот набор ФС обеспечивает взаимодействие субъекта с определенными объектами или явлениями окружающей среды, которые относятся к одной категории или одному классу, например, «животные», «предметы». В психофизиологии структурно-функциональное образование в мозге, связанное со знанием объектов или явлений, принадлежащих определенной категории, и с манипуляцией ими, получило название «домен». Размер домена определяется количеством знаний об объектах определенной категории. В основе этих знаний лежат ФС. Иными

словами, количество систем, включенных в домен, определяет его размер.

Испытуемым в случайном порядке и равновероятно в течение 200 мс предъявлялось одно из двух слов-праймингов – «организм» или «предметы», после чего через 700 мс в случайном порядке предъявлялось слово-мишень, обозначающее объект одной или другой категории. Быстрым нажатием одной из двух клавиш нужно было указать, соответствует или не соответствует предъявленное слово-мишень преднастроенному слову-прайму.

У испытуемых сравнивали время категоризации слова (ВК) – время от момента предъявления «мишени» до момента нажатия клавиши отчета, количество ошибочных категоризаций, субъективный отчет о степени сложности категоризации, ЭЭГ-потенциалы в отведениях F3, 4, P3, 4 и Cz (по международной системе 10–20), связанные с категоризацией слов, в следующих ситуациях: а) соответствие/несоответствие между праймом и мишенью; в) категоризации слов в доменах разной величины; г) категоризации низкочастотных и высокочастотных слов.

Результаты исследования

1. При соответствии прайма и мишени ВК было короче при категоризации организмов, чем при категоризации предметов. Предполагается, что в межсистемных отношениях, обеспечивающих восприятие и категоризацию организмов, в отличие от восприятия и категоризации предметов, участвует меньший набор ФС. Например, анализ частотности употребления слов, указанных в разных изданиях оксфордского словаря с XVI по XX в., выявил значительное сокращение в речи на протяжении XX в. слов, обозначающих живые организмы, и существенное увеличение слов, обозначающих технические объекты и предметы (Wolff et al., 1999).
2. При категоризации любых мишеней, категориально не соответствующих тому или иному прайму, ВК не различается. Причем это время существенно больше, чем в ситуации их категориального соответствия. В ситуации семантического несоответствия двух последовательных слов прайм активирует ФС одного домена, а мишень активирует ФС другого домена. В обоих случаях возникает перекрытие активностей систем двух одних и тех же доменов и в категоризации участвует одинаковый набор ФС, который больше, чем при соответствии прайма и мишени.
3. ВК высокочастотных слов достоверно короче, чем ВК низкочастотных слов. В основе быст-

рой категоризации высокочастотных слов, по-видимому, лежит описанный нами механизм: при многократных повторениях определенного действия установление эффективных функциональных связей между обеспечивающими его ФС сопровождается устранением из взаимодействия «лишних», необязательных для выполнения данного действия ФС (Безденежных 2004). Таким образом, ВК связано, в первую очередь, с количеством систем, вовлеченных в категоризацию: чем больше систем вовлечено, тем больше ВК.

4. В ЭЭГ-потенциалах, связанных с категоризацией, наиболее устойчивым является позитивный компонент с латентным периодом пика около 600 мс (P600). По своим характеристикам P600 полностью соответствует P300, развивающемуся в ответ на простые сенсорные стимулы в задачах выбора. Показано, что передний фронт P600 имеет устойчивую связь с ВК: чем больше ВК, тем больше негативный сдвиг переднего фронта этого компонента. По-видимому, передний фронт P600 связан с процессом согласования активности между нейронами разных систем, вовлеченных в процесс категоризации. Таким образом, увеличение числа систем, вовлеченных в процесс, сопровождается негативным сдвигом этого компонента P600 ЭЭГ-потенциала.

Литература

- Анохин П. К. Узловые вопросы теории функциональных систем. М., 1978.
- Асмолов А. Г. Деятельность и установка. М., 1979.
- Безденежных Б. Н. Динамика взаимодействия функциональных систем в структуре деятельности. М., 2004.
- Швырков В. Б. Введение в объективную психологию. Нейрональные основы психики. Избранные труды. М., 2006.
- Averbeck B. B., Chafee M. V., Crowe D. A., Georgopoulos A. Parallel processing of serial movements in prefrontal cortex // PNAS. 2002. V. 99. № 20. P. 13172–13177.
- Desmurget M., Pelisson D., Rossetti Y., Prablanc C. From eye to hand: planning goal-directed movements // Neuroscience and Biobehavioral Reviews. 1998. V. 22. № 6. P. 761–788.
- Dorris M. C., Pare M., Munoz D. P. Immediate neural plasticity shapes motor performance // The Journal of Neuroscience. 2000. V. 20: RC52. P. 1–5.
- Wolff P., Medin D. L., Pankratz C. Evolution and devolution of folkbiological knowledge // Cognition. 1999. V. 73. № 2. P. 177–204.