

УДК 612.85.016.6-057.875+612.822.3(045)

ЧЕРКАСОВА Анна Сергеевна, ассистент кафедры физиологии и морфологии человека института естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 11 научных публикаций

НЕИНВАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРБАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ

Исследование нейрофизиологических механизмов вербальной функции человека является важным в решении ряда теоретических и практических задач, связанных с эффективностью обучения. Современный подход к анализу языковой деятельности требует детального изучения взаимодействия и участия определенных структур мозга в создании единой функциональной системы, реализующей эту функцию. Большое внимание ученых привлекает исследование функциональной организации головного мозга человека при декодировании отдельных частей речи, грамматических конструкций и целых текстов не только на родном языке, но и на иностранных. Интерес к изучению процессов интерференции и кооперации языков в головном мозге вызван интенсивными процессами межкультурной коммуникации и социально-экономической интеграции между различными странами. Процессы языковой обработки имеют широкий спектр электрофизиологических коррелятов, отражающих различные стороны функционирования базисных нейрофизиологических механизмов. Современные методы (магнитно-резонансная томография, электроэнцефалография, вызванные потенциалы) позволяют получать информацию о работе головного мозга во время вербальных заданий без внедрения в организм человека. На настоящий момент обнаружено, что мозговые структуры имеют различные паттерны активации при обработке текстов, единичных слов разных категорий и псевдослов. Установлено влияние первого языка на активацию коры мозга при чтении слов второго языка. Выявлены временные показатели узнавания и называния слов: на самом раннем этапе происходит кодирование семантической информации, затем синтаксической и только потом фонетической. Показано, что существует перекрытие нейрональных систем, обеспечивающих функционирование разных языков даже с абсолютно различной орфографией.

Ключевые слова: *магнитно-резонансная томография, электроэнцефалография, вызванные потенциалы, вербальная деятельность мозга.*

Обзор делает попытку представить наиболее интересные данные, полученные за несколько десятилетий при использовании различных инструментальных неинвазивных методов исследования вербальной деятельности мозга. Пода-

вляющее большинство данных, представленных далее, получены в исследованиях с участием практически здоровых взрослых, в той или иной мере владеющих вторым языком. Повышенный интерес к изучению языка вызван интенсивными

процессами межкультурной коммуникации и социально-экономической интеграции между различными странами, где человек для успешного и полноценного общения во всех сферах жизни стремится, а иногда просто вынужден владеть как минимум одним иностранным языком. В связи с этим перед учеными-нейрофизиологами стоит задача по исследованию языковых механизмов головного мозга физиологическими методами, но при этом необходимо также понимать и лингвистические термины и категории, поскольку невозможно говорить о каждом конкретном языке без представления основных правил грамматики, фонетики, морфологии и т. д.

Одним из самых распространенных и доступных методов является регистрация электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Диагностика и научные исследования мозговых процессов с помощью ЭЭГ основаны на свойстве неокортекса, как и других отделов головного мозга, непрерывно продуцировать биоэлектрические сигналы, источником которых является активное состояние нервных клеток. Электрическая активность коры состоит из длительных колебаний чрезвычайно изменчивой продолжительности. Такие нерегулярные медленные потенциалы свойственны всем отделам головного мозга. Наряду с ними в коре всегда наступают сравнительно быстрые колебания потенциала также меняющейся продолжительности; по амплитуде они обычно значительно ниже медленных. Быстрые колебания потенциала наступают обычно на фоне последних. Таким образом, медленные нерегулярные потенциалы и быстрые на их фоне характеризуют «спонтанную» активность всех частей коры больших полушарий при ее нормальном функционировании. Характер суммарной электрической активности зависит от структурно-функционального состояния мозга [1–15]. Паттерны нормальной ЭЭГ состоят из разных частотных диапазонов: дельта – от 0,5 до 4 Гц, тета – от 4 до 7 Гц, альфа – от 7 до 13 Гц, бета – от 13 до 35 Гц, гамма – от 35 Гц и выше. Специфика ЭЭГ состоит в том, что использование определенных методов обработки ритмической электрической

активности мозга позволяет не только локализовать функциональную систему, но и выявить особенности взаимодействия составляющих ее структур. Наиболее перспективным подходом к решению этой проблемы является идея о том, что образование функциональной связи между отделами мозга отражается в синхронизации их электрической активности [16, 17]. Так, например, было установлено, что синхронизация электрической активности необходима для связывания частей зрительного объекта в одно целое для появления осознанного зрительного ощущения, для согласования активности зрительной и моторной коры при выполнении движений под контролем зрения [18], для интеграции соматосенсорной и зрительной коры в процессе ассоциативного обучения [16]. Мозговые структуры имеют различные паттерны активации при обработке текстов, единичных слов разных категорий и псевдослов [19–22].

Наибольшее внимание ученых обычно привлекает альфа-ритм ЭЭГ, т. к. он хорошо изучен и является высокореактивным. S. Weems et al. обнаружили, что межполушарная асимметрия альфа-ритма детерминирует точность выполнения задания на лексическое определение (принятие решения о том, является ли последовательность букв словом или псевдословом). Рост левополушарной альфа-активности связан с уменьшением точности лексического определения, а снижение – облегчает процесс распознавания слов [22, 23]. Уровень депрессии альфа-ритма в симметричных отделах коры головного мозга различается при разных типах когнитивных задач, в частности обнаружено, что при решении вербальных тестов фокус депрессии локализуется в речевых областях левой гемисферы [24]. Подавление альфа-ритма носит избирательный характер и проявляется в том полушарии, которое является доминантным для данного типа задач [25].

Выявлено, что плохо успевающие по иностранному языку студенты отличаются менее высоким уровнем активации головного мозга и низкой лабильностью нервных процессов. У них более выражены альфа-частоты, выше

уровень когерентности биопотенциалов в этой частотной полосе, различия между ЭЭГ характеристиками состояния покоя с открытыми и закрытыми глазами незначительны [26]. В группе хорошо успевающих доминируют колебания бета-диапазона и наблюдается большая выраженность реакции десинхронизации (arousal) при открывании глаз, что является важным фактором, положительно влияющим на успешность при выполнении когнитивных задач, в т. ч. и на вербальную деятельность. Некоторые работы подтверждают рост высокочастотных бета- и гамма-колебаний во фронтальных, височных областях в процессе решения вербальной задачи, в то время как депрессия альфа-ритма может служить показателем активации внимания в связи с языковой обработкой [21, 27]. Обычно бета-ритм лучше всего выражен в центральных и лобных областях, и связывают этот феномен с сенсомоторной системой. Увеличение амплитуды и частоты бета-волн наблюдается при усиленной деятельности мозга [1, 28].

Еще со времен знаковых открытий XIX века, совершенных П. Брока (М. Даксом) и К. Вернике, ученые в своих исследованиях пытаются локализовать речевые области головного мозга и обнаружить их связь с другими зонами коры [29]. В 80–90-х годах прошлого столетия были получены клинические данные, подтверждающие территориальное разделение зон, занимающихся обработкой разных частей речи [21, 30]. К. Kim et al. рассматривают речемоторную область Брока как структуру, участвующую в процессе обработки фонетических структур разных языков [31]. Показано, что существительные и глаголы обрабатываются разными областями мозга в высокочастотном диапазоне 25–30 Гц – фронтальные области участвуют в обработке глаголов, в то время как височно-затылочные связаны с существительными [21]. Обычно такое распределение рассматривается в рамках модели Д. Хебба, которая гласит, что нейроны, разделенные пространственно, могут образовывать прочные функциональные ансамбли, активирующиеся на одной частоте, при этом области, явно не связанные с языком,

могут активироваться совместно с классическими речевыми центрами [30, 32–34].

Исследования S. Weiss & H.M. Mueller показали, что степень синхронной работы между разными зонами мозга может выявить различия в обработке категорий слов [35]. Было обнаружено, что изменения КОГ в диапазоне колебаний 1–10 Гц свидетельствуют о глобальной языковой обработке, процессах памяти и внимания, сопутствующих восприятию вербальных символов. При чтении конкретных существительных по сравнению с абстрактными наблюдается рост межполушарной синхронной активности на частоте 13–18 Гц между левой фронтальной и задней правой областями коры головного мозга. Легко воображаемые глаголы вызывают рост межполушарного взаимодействия в диапазоне частот 11–31 Гц в отличие от трудно воображаемых. P. Khader & F. Rösler выявили, что зрительное восприятие глаголов вызывает большую десинхронизацию тета-ритма в лобных областях, чем обработка существительных [36]. Чтение глаголов, в отличие от существительных также сопровождается меньшим уровнем когерентного взаимодействия между левой и правой фронтальными зонами, что предполагает разные стратегии обработки мозгом различных категорий слов [37]. Интересны данные, демонстрирующие участие моторных зон коры при перцепции речи, особенно, когда речь трудно понять (наличие постороннего шума или сложное фонетическое задание) [38]. F. Pulvermüller et al. показали, что в задании на лексическое определение различных классов слов возникают различные паттерны гамма активности. Существительные вызывают большую гамма активность в зрительных областях, а глаголы – в моторных [21, 34].

Весьма информативным методом исследования мозговых структур и их функций является магнитно-резонансная томография (МРТ), основанная на явлении магнитного резонанса [2, 28, 39–41]. Атомы водорода (как и некоторые другие элементы) являются элементарными магнитами, которые в обычном состоянии ориентированы случайным образом. Однако, если

такие магниты поместить во внешнее магнитное поле, они распределяются либо по направлению поля, либо против него. После отключения магнитного поля атомы возвращаются в исходные состояния, испуская определенные волны, которые и фиксируются специальными детекторами, выявляя области активации нервных структур [55]. Данные функциональной МРТ, полученные при выполнении различных языковых заданий показывают активацию левых фронтальных, височных и теменных областей в ответ на фонетическую, семантическую и синтаксическую обработку [42–44]. С помощью методов нейровизуализации в задании на узнавание и называние предмета на картинке было обнаружено, что сначала происходит активация средней части левой височной средней извилины, доступ к фонологическому коду слова сопровождается активацией зоны Вернике, а разделение на слоги активирует левые нижние фронтальные области [45]. Было установлено влияние первого языка на активацию при чтении слов второго языка [46]. В работе M. Stein et al. исследовались показатели активации головного мозга в группе англоговорящих студентов, изучавших немецкий язык в течение 5 месяцев [47, 48]. МРТ сканирование проводилось дважды: перед началом изучения языка и после. Результаты показали, что в первой сессии слова чужого языка вызывали более сильную фронтальную активацию коры головного мозга, чем во второй. Авторы пришли к выводу, что на начальных этапах изучения необходим более жесткий контроль со стороны лобных областей.

Одним из популярных и высокоточных методов изучения биоэлектрической активности в кросс-лингвистических исследованиях является регистрация вызванных потенциалов (ВП) и событийно-связанных потенциалов (ССП) [39, 49–51]. СПП экстрагируются из электроэнцефалограммы путем усреднения сигналов, возникающих одновременно с презентацией стимула [52]. С помощью метода ВП были выявлены временные показатели узнавания и называния (по сути речепродукции) графических

объектов [45, 53]. В протекании этого процесса было выделено несколько временных этапов: предъявление картинки – 0 мс, выбор лексического концепта – 175 мс, определение леммы (основной формы слова) – 250 мс, обработка фонетических компонентов – 330 мс, фонетическая форма слова – 455 мс, артикуляция – 600 мс. Наиболее распространенные изучаемые показатели ВП LAN, которую связывают с напряжением при обработке неправильных или сложных синтаксических конструкций; P600, возникающий в процессе повторного анализа синтаксиса при нарушении (морфо-) синтаксиса; N400 компонент, который служит индикатором лексической преактивации и лексико-семантической интеграции [54–56]. Согласно данным R. Kliegl, узнавание слова не ограничивается периодом зрительной фиксации, но может продолжаться и после, параллельно с обработкой следующего слова [57]. Метод ВП позволил выявить, что при речепродукции на самом раннем этапе происходит кодирование семантической информации, затем синтаксической и только потом фонетической [53].

Время отсеивания слов второго языка и псевдослов у билингвов является одинаковым, что свидетельствует о том, что люди, владеющие двумя языками, могут успешно и эффективно «включать» один из лексиконов в зависимости от требований ситуации [58]. Но также было показано, что существует перекрытие нейрональных систем, обеспечивающих функционирование разных языков даже с абсолютно различной орфографией [46, 59, 60].

Таким образом, неинвазивные методы исследования, применимые к здоровым людям в условиях, приближенных к естественным, а также междисциплинарный подход, подразумевающий сотрудничество нейрофизиологии и наук о языке, являются важным звеном в изучении фундаментальных аспектов мозгового обеспечения процессов речевой обработки и речепродукции как в целом, так и на уровне конкретных языков.

Список литературы

1. Беритов И.С. Структура и функции коры большого мозга. М., 1969. 532 с.
2. Бетелева Т.Г., Синицын С.В. Связанные с событием потенциалы на разных этапах реализации зрительной рабочей памяти // Физиология человека. 2008. Т. 34, № 3. С. 1–11.
3. Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография (картирование и локализация источников электрической активности мозга). М., 2004. 624 с.
4. Данилова Н.Н. Неинвазивное отображение активности локальных нейронных сетей у человека по данным многоканальной регистрации ЭЭГ // Психология. Журн. Высш. шк. экономики. 2009. Т. 6, № 1. С. 114–131.
5. Данько С.Г. Об отражении различных аспектов активации мозга в электроэнцефалографии: что показывает количественная электроэнцефалография состояний покоя с открытыми и закрытыми глазами // Физиология человека. 2006. Т. 32, № 4. С. 5–17.
6. Жирмунская Е.А., Лосев В.С. Системы описания и классификация электроэнцефалограмм человека. М., 1984. 79 с.
7. Захаров С.М., Скоморохов А.А. Практическое применение компьютерной электроэнцефалографии. Таганрог, 2000. 69 с.
8. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). М., 2004. 386 с.
9. Киров В.Н., Ермаков П.Н. Электроэнцефалограмма и функциональные состояния человека. Ростов н/Д., 1998. 264 с.
10. Разумникова О.М. Индивидуальные особенности полушарной активности, определяющие успешность решения эвристической задачи // Асимметрия. 2009. Т. 3, № 1. С. 37–50.
11. Фарбер Д.А., Алферова В.В. Электроэнцефалограмма детей и подростков. М., 1972. 216 с.
12. Reiterer S., Hemmelmann C., Rappelsberger P., Berger M.L. Characteristic Functional Networks in High- Versus Low-Proficiency Second-Language Speakers Detected Also During Native Language Processing: An Explorative EEG Coherence Study in 6 Frequency Bands // Cogn. Brain Res. 2005. Vol. 25, № 2. P. 566–578.
13. Zietsch B.P., Hansen J.L., Hansell N.K., Geffen G.M., Martin N.G., Wright M.J. Common and Specific Genetic Influences on EEG Power Bands Delta, Theta, Alpha, and Beta // Biol. Psychol. 2007. Vol. 75. P. 154–164.
14. Klimesch W. EEG Alpha and Theta Oscillations Reflect Cognitive and Memory Performance: A Review and Analysis // Brain Res. Rev. 1999. Vol. 29, № 2–3. P. 169–195.
15. Rösler F. From Single-Channel Recordings to Brain-Mapping Devices: The Impact of Electroencephalography on Experimental Psychology // Hist. Psychol. 2005. Vol. 8, № 1. P. 95–117.
16. Николаев А.Р., Иваницкий Г.А., Иваницкий А.М. Исследование корковых взаимодействий в коротких интервалах времени при поиске вербальных ассоциаций // Журн. высш. нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2000. Т. 50, № 1. С. 44–60.
17. Weiss S., Rappelsberger P. Left Frontal EEG Coherence Reflects Modality Independent Language Processes // Brain Topography. 1998. Vol. 11, № 1. P. 33–42.
18. Classen J., Gerloff C., Honda M., Hallett M. Integrative Visuomotor Behavior Is Associated with Interregionally Coherent Oscillations in the Human Brain // J. Neurophysiol. 1998. Vol. 79(3). P. 1567–1573.
19. Libben M. The Role of Context in Bilingual Language Processing: PhD Thesis. Montreal, 2009. 255 p.
20. Pallier C., Devauchelle A.-D., Dehaene S. Cortical Representation of the Constituent Structure of Sentences // Proc. Natl. Acad. Sci. 2011. Vol. 108, № 6. P. 2522–2527.
21. Pulvermüller F., Lutzenberger W., Preissl H. Nouns and Verbs in the Intact Brain: Evidence from Event-Related Potentials and High-Frequency Cortical Responses // Cereb. Cortex. 1999. Vol. 9, № 5. P. 497–506.
22. Zaidel E., Hill A., Weems S. EEG Correlates of Hemispheric Word Recognition // Brain Research in Language. Literacy Studies. 2008. Vol. 1. P. 225–245.
23. Weems S., Zaidel E., Berman S., Mandelkern M.A. Asymmetry in Alpha Power Predicts Accuracy in Hemispheric Lexical Decision // Clin. Neurophysiol. 2004. Vol. 115, № 7. P. 1575–1582.
24. Соколов А.Н., Щепланова Е.И. Изменения в суммарной энергии ритмов ЭЭГ при некоторых видах умственной деятельности // Новые исслед. в психологии. 1974. № 3(11). С. 37–40.
25. Шшишкин С.И. Исследование синхронности моментов резких изменений альфа-активности ЭЭГ человека: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1997. 31 с.; URL: http://brain.bio.msu.ru/shishkin/thesis/index_hb.htm (дата обращения: 15.10.13).

26. Хохлова Л.А. Функциональные особенности частотных диапазонов мозга у студентов с разным уровнем языковых способностей // Психология образования в поликультурном пространстве. 2011. Т. 1, № 13. С. 86–93.
27. Kim K.H., Kim J.H. Analysis of Induced Gamma-Band Activity in EEG During Visual Perception of Korean, English, Chinese Words // *Neurosci. Lett.* 2006. Vol. 403, № 3. P. 216–221.
28. Kropotov J. Quantitative EEG and Event-Related Potentials and Neurotherapy. USA, 2009. 600 p.
29. Спрингер С., Дейч Г. Левый мозг, правый мозг. М., 1983. 256 с.
30. Warrington E.K., McCarthy R.A. Categories of Knowledge. Further Fractionations and an Attempted Integration // *Brain.* 1987. Vol. 110, № 5. P. 1273–1296.
31. Kim K.H.S., Relkin N.R., Lee K.-M., Hirsch J. Distinct Cortical Areas Associated with Native and Second Languages // *Nature.* 1997. Vol. 388. P. 171–174.
32. Bierwisch M. Language and Brain – Facts, Problems, Mysteries // *Eur. Rev.* 2008. Vol. 16, № 4. P. 467–481.
33. Hebb D. The Organization of Behavior. N. Y., 1949. 335 p.
34. Pulvermüller F. Words in the Brains Language // *Behav. Brain Sci.* 1999. Vol. 22. P. 253–336.
35. Weiss S., Mueller H.M. The Contribution of EEG Coherence to the Investigation of Language // *Brain Lang.* 2003. Vol. 85, № 2. P. 325–343.
36. Khader P., Rösler F. EEG Power and Coherence Analysis of Visually Presented Nouns and Verbs Reveals Left Frontal Processing Differences // *Neurosci. Lett.* 2004. Vol. 354(2). P. 111–114.
37. Jeannerod M. Language, Perception and Action. How Words Are Grounded in the Brain // *Eur. Rev.* 2008. Vol. 16, № 4. P. 389–398.
38. Tremblay P., Dick A., Small S. New Insights into Neurobiology of Language from Functional Brain Imaging // *Brain Mapp.* 2011. P. 141–143.
39. Савостьянов А.Н., Пальчунов Д.Е. Когнитивные исследования и нейролингвистика: современное состояние и перспективы дальнейших исследований // *Вестн. Том. гос. ун-та.* 2013. № 368. С. 133–140.
40. Abutalebi J. Neural Aspects of Second Language Representation and Language Control // *Acta Psychol.* 2008. Vol. 128. P. 466–478.
41. Brauer J., Anwender A., Friederici A.D. Neuroanatomical Prerequisites for Language Functions in the Maturing Brain // *Cereb. Cortex.* 2011. Vol. 21, № 2. P. 459–466.
42. Cohen L., Lehericy S., Chochon F., Lemer C., Rivaud S., Dehaene S. Language-Specific Tuning of Visual Cortex? Functional Properties of the Visual Word Form Area // *Brain.* 2002. Vol. 125, № 5. P. 1054–1069.
43. Vigneau M., Beaucousin V., Herve P.Y., Duffau H., Crivello F., Houde O., Mazoyer B., Tzourio-Mazoyer N. Meta-Analyzing Left Hemisphere Language Areas: Phonology, Semantics, and Sentence Processing // *NeuroImage.* 2006. Vol. 30(4). P. 1414–1432.
44. Suchan J., Karnath H.-O. Spatial Orienting by Left Hemisphere Language Areas: A Relict from the Past? // *Brain.* 2011. Vol. 134 (10). P. 3059–3070.
45. Indefrey P., Levelt W.J.M. The Spatial and Temporal Signatures of Word Production Components // *Cognition.* 2004. Vol. 92. P. 101–144.
46. Nosarti C., Mechelli A., Green D.W., Price C.J. The Impact of Second Language Learning on Semantic and Nonsemantic First Language Reading // *Cereb. Cortex.* 2010. Vol. 20. P. 315–327.
47. Reading, Writing, Mathematics and the Developing Brain: Listening to Many Voices / ed. by Z. Breznitz, O. Rubinsten, V.J. Molfese, D.L. Molfese. Netherlands, 2012. 324 p.
48. Stein M., Federspiel A., Koenig T., Wirth M., Lehmann C., Wiest R., Strik W., Brandeis D., Dierks T. Reduced Frontal Activation with Increasing 2nd Language Proficiency // *Neuropsychologia.* 2009. Vol. 47, № 13. P. 2712–2720.
49. Секерина И.А. Метод вызванных потенциалов мозга в американской психолингвистике и его использование при решении проблемы порядка слов в русском языке // *Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: тр. междунар. конф. М., 2002*; URL: <http://www.dialog-21.ru/digest/archive/2002/> (дата обращения: 25.11.13).
50. Ditman T., Holcomb P.J., Kuperberg G.R. Time Travel Through Language: Temporal Shifts Rapidly Decrease Information Accessibility During Reading // *Psychon. Bull. Rev.* 2008. Vol. 15, № 4. P. 750–756.
51. Min B.-K., Busch N.A., Debener S., Kranczioch C., Hanslmayr S., Engel A., Herrmann C.S. The Best of Both Worlds: Phase-Reset of Human EEG Alpha Activity and Additive Power Contribute to ERP Generation // *Int. J. Psychophysiol.* 2007. Vol. 65, № 1. P. 58–68.

52. Hahne A., Friederici A.D. Processing a Second Language: Late Learners' Comprehension Mechanisms as Revealed by Event-Related Brain Potentials // *Biling.: Lang. Cogn.* 2001. Vol. 4, № 2. P. 123–141.
53. Rodriguez-Fornells A., van der Lugt A., Rotte M., Britti B., Heinze H.J., Münte T.F. Second Language Interferes with Word Production in Fluent Bilinguals: Brain Potential and Functional Imaging Evidence // *J. Cogn. Neurosci.* 2005. Vol. 17, № 3. P. 422–433.
54. King J.W., Kutas M. Who Did What and When? Using Word- and Clause-Level ERPs to Monitor Working Memory Usage in Reading // *J. Cogn. Neurosci.* 1995. Vol. 7, № 3. P. 376–395.
55. Hagoort P., Baggio G., Willems R.M. Semantic Unification // *The Cognitive Neurosciences*. 2009. 4th ed. P. 819–836.
56. Moreno E.M., Kutas M. Processing Semantic Anomalies in Two Languages: An Electrophysiological Exploration in Both Languages of Spanish–English Bilinguals // *Cogn. Brain Res.* 2005. Vol. 22, № 2. P. 205–220.
57. Kliegl R., Dambacher M., Dimigen O., Jacobs A.M., Sommer W. Eye Movements and Brain Electric Potentials During Reading // *Psychol. Res.* 2012. Vol. 76, № 2. P. 145–158.
58. Rodriguez-Fornells A., Rotte M., Heinze H.J., Nösselt T., Münte T.F. Brain Potential and Functional MRI Evidence for How to Handle Two Languages with One Brain // *Nature*. 2002. Vol. 415. P. 1026–1029.
59. Crinion J., Turner R., Grogan A., Hanakawa T., Noppeney U., Devlin J.T., Aso T., Urayama S., Fukuyama H., Stockton K., Usui K., Green D.W., Price C.J. Language Control in the Bilingual Brain // *Science*. 2006. Vol. 312, № 5779. P. 1537–1540.
60. Perani D., Abutalebi J. The Neural Basis of First and Second Language Processing // *Curr. Opin. in Neurobiol.* 2005. Vol. 15, № 2. P. 202–206.

References

1. Beritov I.S. *Struktura i funktsii kory bol'shogo mozga* [Structure and Function of the Cerebral Cortex]. Moscow, 1969. 532 p.
2. Beteleva T.G., Sinitsyn S.V. Svyazannye s sobytiem potentsialy na raznykh etapakh realizatsii zritel'noy rabochey pamyati [Event-Related Potentials at Different Stages of the Operation of Visual Working Memory]. *Human Physiology*, 2008, vol. 34, no. 3, pp. 265–274.
3. Gnezditskiy V.V. *Obratnaya zadacha EEG i klinicheskaya elektroentsefalografiya (kartirovanie i lokalizatsiya istochnikov elektricheskoy aktivnosti mozga)* [EEG Inverse Problem and Clinical Electroencephalography (Mapping and Localization of Sources of Brain Electrical Activity)]. Moscow, 2004. 624 p.
4. Danilova N.N. Neinvazivnoe otobrazhenie aktivnosti lokal'nykh neyronnykh setey u cheloveka po dannym mnogokanal'noy registratsii EEG [Non-Invasive Mapping of Local Neural Networks Activity in Humans According to Multi-Channel EEG Recording Data]. *Psikhologiya. Zhurnal Vysshey shkoly ekonomiki*, 2009, vol. 6, no. 1, pp. 114–131.
5. Dan'ko S.G. Ob otrazhenii razlichnykh aspektov aktivatsii mozga v elektroentsefalografii: chto pokazyvaet kolichestvennaya elektroentsefalografiya sostoyaniy pokoya s otkrytymi i zakrytymi glazami [The Reflection of Different Aspects of Brain Activation in the Electroencephalogram: Quantitative Electroencephalography of the States of Rest with the Eyes Open and Closed]. *Fiziologiya cheloveka*, 2006, vol. 32, no. 4, pp. 5–17.
6. Zhirmunskaya E.A., Losev V.S. *Sistemy opisaniya i klassifikatsiya elektroentsefalogramm cheloveka* [Systems of Human Electroencephalogram Description and Classification]. Moscow, 1984. 79 p.
7. Zakharov S.M., Skomorokhov A.A. *Prakticheskoe primenenie komp'yuternoy elektroentsefalografii* [Practical Application of Computer Electroencephalography]. Taganrog, 2000. 69 p.
8. Zenkov L.R. *Klinicheskaya elektroentsefalografiya (s elementami epileptologii)* [Clinical Electroencephalography (with Elements of Epileptology)]. Moscow, 2004. 386 p.
9. Kiroy V.N., Ermakov P.N. *Elektroentsefalogramma i funktsional'nye sostoyaniya cheloveka* [Electroencephalogram and Functional State of the Person]. Rostov-on-Don, 1998. 264 p.
10. Razumnikova O.M. Individual'nye osobennosti polusharnoy aktivnosti, opredelyayushchie uspechnost' resheniya evristicheskoy zadachi [Individual Differences in Hemispheric Activity Associated with Successful Solving of Heuristic Task]. *Asimmetriya*, 2009, pp. 3, no. 1, pp. 37–50.
11. Farber D.A., Alferova V.V. *Elektroentsefalogramma detey i podrostkov* [EEG of Children and Adolescents]. Moscow, 1972. 216 p.

12. Reiterer S., Hemmelmann C., Rappelsberger P., Berger M.L. Characteristic Functional Networks in High- Versus Low-Proficiency Second-Language Speakers Detected Also During Native Language Processing: An Explorative EEG Coherence Study in 6 Frequency Bands. *Cogn. Brain Res.*, 2005, vol. 25, no. 2, pp. 566–578.
13. Zietsch B.P., Hansen J.L., Hansell N.K., Geffen G.M., Martin N.G., Wright M.J. Common and Specific Genetic Influences on EEG Power Bands Delta, Theta, Alpha, and Beta. *Biol. Psychol.*, 2007, vol. 75, pp. 154–164.
14. Klimesch W. EEG Alpha and Theta Oscillations Reflect Cognitive and Memory Performance: A Review and Analysis. *Brain Res. Rev.*, 1999, vol. 29, no. 2–3, pp. 169–195.
15. Rösler F. From Single-Channel Recordings to Brain-Mapping Devices: The Impact of Electroencephalography on Experimental Psychology. *Hist. Psychol.*, 2005, vol. 8, no. 1, pp. 95–117.
16. Nikolaev A.R., Ivanitskiy G.A., Ivanitskiy A.M. The Cortical Interactions in Short Time Intervals During the Search for Verbal Associations. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti im. I.P. Pavlova*, 2000, vol. 50, no. 1, pp. 44–60.
17. Weiss S., Rappelsberger P. Left Frontal EEG Coherence Reflects Modality Independent Language Processes. *Brain Topogr.*, 1998, vol. 11, no. 1, pp. 33–42.
18. Classen J., Gerloff C., Honda M., Hallett M. Integrative Visuomotor Behavior Is Associated with Interregionally Coherent Oscillations in the Human Brain. *J. Neurophysiol.*, 1998, vol. 79 (3), pp. 1567–1573.
19. Libben M. *The Role of Context in Bilingual Language Processing: PhD Thesis*. Montreal, 2009. 255 p.
20. Pallier C., Devauchelle A.-D., Dehaene S. Cortical Representation of the Constituent Structure of Sentences. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2011, vol. 108, no. 6, pp. 2522–2527.
21. Pulvermüller F., Lutzenberger W., Preissl H. Nouns and Verbs in the Intact Brain: Evidence from Event-Related Potentials and High-Frequency Cortical Responses. *Cereb. Cortex*, 1999, vol. 9, no. 5, pp. 497–506.
22. Zaidel E., Hill A., Weems S. EEG Correlates of Hemispheric Word Recognition. *Brain Research in Language. Literacy Studies*, 2008, vol. 1, pp. 225–245.
23. Weems S., Zaidel E., Berman S., Mandelkern M.A. Asymmetry in Alpha Power Predicts Accuracy in Hemispheric Lexical Decision. *Clin. Neurophysiol.*, 2004, vol. 115, no. 7, pp. 1575–1582.
24. Sokolov A.N., Shcheblanova E.I. Izmeneniya v summarnoy energii ritmov EEG pri nekotorykh vidakh umstvennoy deyatel'nosti [Changes in the Total Energy of EEG Rhythms in Certain Types of Mental Activity]. *Novye issledovaniya v psikhologii*, 1974, no. 3 (11), pp. 37–40.
25. Shishkin S.L. *Issledovanie sinkhronnosti momentov rezkikh izmeneniy al'fa-aktivnosti EEG cheloveka*: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk [Investigation of Simultaneity of Abrupt Changes in EEG Alpha Activity in Humans: Cand. Med. Sci. Diss. Abs.]. Moscow, 1997. 31 p. Available at: http://brain.bio.msu.ru/shishkin/thesis/index_hb.htm (accessed 15 October 2013).
26. Khokhlova L.A. Funktsional'nye osobennosti chastotnykh diapazonov mozga u studentov s raznym urovnem yazykovykh sposobnostey [Functional Peculiarities of the Brain Frequency Band in Students with Different Language Abilities]. *Psikhologiya obrazovaniya v polikulturnom prostranstve*, 2011, vol. 1, no. 13, pp. 86–93.
27. Kim K.H., Kim J.H. Analysis of Induced Gamma-Band Activity in EEG During Visual Perception of Korean, English, Chinese Words. *Neurosci. Lett.*, 2006, vol. 403, no. 3, pp. 216–221.
28. Kropotov J. *Quantitative EEG and Event-Related Potentials and Neurotherapy*. USA, 2009. 600 p.
29. Springer S.P., Deutsch G. *Left Brain, Right Brain*. W.H. Freeman and Co., San Francisco (Russ. ed.: Springer S., Deych G. *Levy mozg, pravyy mozg*. Moscow, 1983. 256 p.).
30. Warrington E.K., McCarthy R.A. Categories of Knowledge. Further Fractionations and an Attempted Integration. *Brain*, 1987, vol. 110, no. 5, pp. 1273–1296.
31. Kim K.H.S., Relkin N.R., Lee K.-M., Hirsch J. Distinct Cortical Areas Associated with Native and Second Languages. *Nature*, 1997, vol. 388, pp. 171–174.
32. Bierwisch M. Language and Brain – Facts, Problems, Mysteries. *Eur. Rev.*, 2008, vol. 16, no. 4, pp. 467–481.
33. Hebb D. *The Organization of Behavior*. New York, 1949. 335 p.
34. Pulvermüller F. Words in the Brain's Language. *Behav. Brain Sci.*, 1999, vol. 22, pp. 253–336.
35. Weiss S., Mueller H.M. The Contribution of EEG Coherence to the Investigation of Language. *Brain Lang.*, 2003, vol. 85, no. 2, pp. 325–343.
36. Khader P., Rösler F. EEG Power and Coherence Analysis of Visually Presented Nouns and Verbs Reveals Left Frontal Processing Differences. *Neurosci. Lett.*, 2004, vol. 354 (2), pp. 111–114.
37. Jeannerod M. Language, Perception and Action. How Words Are Grounded in the Brain. *Eur. Rev.*, 2008, vol. 16, no. 4, pp. 389–398.

38. Tremblay P., Dick A., Small S. New Insights into Neurobiology of Language from Functional Brain Imaging. *Brain Mapp.*, 2011, pp. 141–143.
39. Savost'yanov A.N., Pal'chunov D.E. Kognitivnye issledovaniya i neyrolingvistika: sovremennoe sostoyanie i perspektivy dal'neyshikh issledovaniy [Cognitive Studies and Neurolinguistics: Modern State and Prospects of Future Studies]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, no. 368, pp. 133–140.
40. Abutalebi J. Neural Aspects of Second Language Representation and Language Control. *Acta Psychol.*, 2008, vol. 128, pp. 466–478.
41. Brauer J., Anwander A., Friederici A.D. Neuroanatomical Prerequisites for Language Functions in the Maturing Brain. *Cereb. Cortex*, 2011, vol. 21, no. 2, pp. 459–466.
42. Cohen L., Lehericy S., Chochon F., Lemer C., Rivaud S., Dehaene S. Language-Specific Tuning of Visual Cortex? Functional Properties of the Visual Word Form Area. *Brain*, 2002, vol. 125, no. 5, pp. 1054–1069.
43. Vigneau M., Beaucousin V., Hervé P.Y., Duffau H., Crivello F., Houdé O., Mazoyer B., Tzourio-Mazoyer N. Meta-Analyzing Left Hemisphere Language Areas: Phonology, Semantics, and Sentence Processing. *NeuroImage*, 2006, vol. 30 (4), pp. 1414–1432.
44. Suchan J., Karnath H.-O. Spatial Orienting by Left Hemisphere Language Areas: A Relict from the Past? *Brain*, 2011, vol. 134 (10), pp. 3059–3070.
45. Indefrey P., Levelt W.J.M. The Spatial and Temporal Signatures of Word Production Components. *Cognition*, 2004, vol. 92 (1–2), pp. 101–144.
46. Nosarti C., Mechelli A., Green D.W., Price C.J. The Impact of Second Language Learning on Semantic and Nonsemantic First Language Reading. *Cereb. Cortex*, 2010, vol. 20, pp. 315–327.
47. *Reading, Writing, Mathematics and the Developing Brain: Listening to Many Voices*. Ed. by Z. Breznitz, O. Rubinsten, V.J. Molfese, D.L. Molfese. Netherlands, 2012. 324 p.
48. Stein M., Federspiel A., Koenig T., Wirth M, Lehmann C., Wiest R., Strik W., Brandeis D., Dierks T. Reduced Frontal Activation with Increasing 2nd Language Proficiency. *Neuropsychologia*, 2009, vol. 47, no. 13, pp. 2712–2720.
49. Sekerina I.A. Metod vyzvannykh potentsialov mozga v amerikanskoy psikholingvistike i ego ispol'zovanie pri reshenii problemy poryadka slov v russkom yazyke [The Method of Evoked Potentials in American Psycholinguistics and Its Use in Solving the Problem of Word Order in the Russian Language]. *Komp'yuternaya lingvistika i intellektual'nye tekhnologii: tr. mezhdunar. konf.* [Computational Linguistics and Intelligent Technologies: Proc. Int. Conf.]. Moscow, 2002. Available at: <http://www.dialog-21.ru/digest/archive/2002/?year=2002&vol=22724&id=7383> (accessed 25 November 2013).
50. Ditman T., Holcomb P.J., Kuperberg G.R. Time Travel Through Language: Temporal Shifts Rapidly Decrease Information Accessibility During Reading. *Psychon. Bull. Rev.*, 2008, vol. 15, no. 4, pp. 750–756.
51. Min B.-K., Busch N.A., Debener S., Kranczioch C., Hanslmayr S., Engel A.K., Herrmann C.S. The Best of Both Worlds: Phase-Reset of Human EEG Alpha Activity and Additive Power Contribute to ERP Generation. *Int. J. Psychophysiol.*, 2007, vol. 65, no. 1, pp. 58–68.
52. Hahne A., Friederici A.D. Processing a Second Language: Late Learners' Comprehension Mechanisms as Revealed by Event-Related Brain Potentials. *Biling. Lang. Cogn.*, 2001, vol. 4, no. 2, pp. 123–141.
53. Rodriguez-Fornells A., van der Lugt A., Rotte M., Britti B., Heinze H.J., Münte T.F. Second Language Interferes with Word Production in Fluent Bilinguals: Brain Potential and Functional Imaging Evidence. *J. Cogn. Neurosci.*, 2005, vol. 17, no. 3, pp. 422–433.
54. King J.W., Kutas M. Who Did What and When? Using Word- and Clause-Level ERPs to Monitor Working Memory Usage in Reading. *J. Cogn. Neurosci.*, 1995, vol. 7, no. 3, pp. 376–395.
55. Hagoort P., Baggio G., Willems R.M. Semantic Unification. *The Cognitive Neurosciences*. 2009, 4th ed., pp. 819–836.
56. Moreno E.M., Kutas M. Processing Semantic Anomalies in Two Languages: An Electrophysiological Exploration in Both Languages of Spanish–English Bilinguals. *Cogn. Brain Res.*, 2005, vol. 22, no. 2, pp. 205–220.
57. Kliegl R., Dambacher M., Dimigen O., Jacobs A.M., Sommer W. Eye Movements and Brain Electric Potentials During Reading. *Psychol. Res.*, 2012, vol. 76, no. 2, pp. 145–158.
58. Rodriguez-Fornells A., Rotte M., Heinze H.J., Nösselt T., Münte T.F. Brain Potential and Functional MRI Evidence for How to Handle Two Languages with One Brain. *Nature*, 2002, vol. 415, pp. 1026–1029.

59. Crinion J., Turner R., Grogan A., Hanakawa T., Noppeney U., Devlin J.T., Aso T., Urayama S., Fukuyama H., Stockton K., Usui K., Green D.W., Price C.J. Language Control in the Bilingual Brain. *Science*, 2006, vol. 312, no. 5779, pp. 1537–1540.

60. Perani D., Abutalebi J. The Neural Basis of First and Second Language Processing. *Curr. Opin. Neurobiol.*, 2005, vol. 15, no. 2, pp. 202–206.

Cherkasova Anna Sergeevna

Institute of Natural Sciences and Technologies,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

NON-INVASIVE METHODS OF VERBAL FUNCTION RESEARCH

Studying neurophysiological mechanisms of verbal activity is important to solve theoretical and practical tasks related to learning efficiency. Modern approach to verbal activity analysis requires a thorough investigation of the interaction between certain brain structures and their role in the formation of the single functional system responsible for this function. Researchers turn to the functional brain organization when decoding parts of speech, grammatical structures and whole texts both in one's native and non-native languages. Such an interest for interference and cooperation of languages in the brain is explained by the intensive cross-cultural communication and socioeconomic integration between different countries. Language processing has a wide spectrum of electrophysiological correlates reflecting various aspects of functioning of main neurophysiological mechanisms. Modern methods (MRI, EEG, evoked potentials) allow one to noninvasively obtain information about brain activity when performing verbal tasks. To date, it has been found that brain structures have different activity patterns while processing texts, various categories of words, and pseudowords. First language affects brain activation when the person is reading words in the second language. The time of recognizing and naming words has been determined: the first stage includes coding of semantic information, then syntactic and, lastly, phonetic one. It has been shown that there is an overlap of neuronal systems which provide functioning of languages even with absolutely different orthographies.

Keywords: *MRI, EEG, evoked potentials, verbal activity of the brain.*

Контактная информация:

адрес: 163061, г. Архангельск, ул. Северодвинская, д. 13А;
e-mail: sobakapavlova@mail.ru