

КОГНИТИВНАЯ НАУКА

В МОСКВЕ



НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

МАТЕРИАЛЫ
КОНФЕРЕНЦИИ
2019

Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман

УДК 159.9
ББК 88.25
К57

Когнитивная наука в Москве: новые исследования. Материалы конференции 19 июня 2019 г. Под ред. Е. В. Печенковой, М. В. Фаликман. – М.: ООО «Буки Веди», ИППиП. 2019 г. – 656 стр.

ISBN 978-5-4465-2346-7

УДК 159.9
ББК 88.25

ISBN 978-5-4465-2346-7

©Авторы статей, 2019

ЧТО ДЕЛАЕТ СЛОВО СЛОВОМ? ВЛИЯНИЕ СЕМАНТИКИ НА СЛУХОВОЕ ВОСПРИЯТИЕ ПСЕВДОСЛОВ

А. М. Разоренова* (1, 2), Б. В. Чернышев (1, 2, 3), Н. Б. Тюленев (1),

А. Ю. Николаева (1), А. О. Прокофьев (1), Т. А. Строганова (1)

razoral@ya.ru

1 – МГППУ, Москва; 2 – НИУ ВШЭ, Москва; 3 – МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва

Аннотация. Устойчивая связь между словами и объектами или событиями лежит в основе человеческой речи. Как слово обрабатывается человеческим мозгом и что способствует интеграции незнакомого набора фонем в лексикон? Эти вопросы до сих пор не имеют единого ответа. Согласно одной точке зрения, мозг автоматически обрабатывает незнакомый набор фонем как слово сразу после нескольких повторений, однако, согласно другой точке зрения, лексический доступ получает только набор фонем, которому присвоено значение. Однако в контексте выучивания слова необходимо рассматривать оба аспекта: фонологическое ознакомление и связывание с семантикой. Данная работа посвящена поискам эффектов, связанных с приобретением словом смысла, а именно: где и когда в мозге возникают процессы, связанные с семантикой слова. Для имитации естественных условий научения языку мы впервые разработали следующую задачу: испытуемые должны были соотнести псевдослова с действиями в ходе научения методом проб и ошибок. Участникам предъявлялись восемь псевдослов; во время обучающих блоков четыре из них ассоциировались с одним из движений правой/левой рукой/ногой. Оставшиеся четыре слова использовались в качестве контрольных стимулов. Проанализированы вызванные ответы на псевдослова до и после обучения. Обнаружен эффект в островковой коре, комплексе Брока, внутритеменной борозде, области слухового параряса, теменном полюсе, все области локализованы в левом полушарии. Различия в ответе на бессмысленные псевдослова и псевдослова с ассоциацией наблюдаются в интервале 150 – 360 мс после произнесения первого слога, одинакового для всех псевдослов. Полученный пространственно-временной паттерн указывает на то, что семантика стимулирует анализ псевдослова, в том числе укрепляет его фонологический образ.

Ключевые слова: ассоциативное обучение, семантика, слуховая задача, речь, рецептивные поля

Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ, грант № 17-29-02168.

Введение

Общепринято рассматривать слово как структурную единицу языка. Однако само слово обладает двойственной природой. С одной стороны, слово – это устойчивый набор звуков, который человеческое ухо учится выделять как единую структуру в потоке речи. С другой же, этому набору звуков соответствует значение – объект, действие или функциональное понятие. До сих пор

не ясно, как мозг кодирует значение слова и адресуется к нему при обработке речи. Также нет единого мнения, как человек воспринимает незнакомые слова или псевдослова, лишенные смысла. Одна группа исследователей утверждает, что у взрослого человека сформированы механизмы, которые способны быстро интегрировать незнакомое псевдослово в единую лексико-семантическую сеть (так называемый фонологический способ выучивания слова согласно Kimpra et al., 2015; Shtyrov, 2011; Shtyrov et al., 2010). Другие ученые полагают, что наличие смысла — устойчивой ассоциации с предметом, действием или явлением — является ключевым условием для успешного запоминания и формирования механизмов для эффективного распознавания фонологического образа (Davis, Gaskell, 2009). Однако в контексте выучивания слова необходимо рассматривать оба аспекта: фонологическое ознакомление и связывание с семантикой.

Целью нашего исследования было выяснить, как именно смысл влияет на обработку незнакомого слова. Для формирования устойчивой ассоциации мы использовали метод научения путем «проб и ошибок» для слуховой моторной задачи. Это первое известное нам исследование, где испытуемым самостоятельно предлагалось установить связь между словом и действием, которое имитирует важные аспекты естественного научения речи. Наша работа отвечает на два вопроса: на каком этапе и где в мозге протекают процессы, связанные с семантикой слова. Исследование проведено с использованием метода МЭГ, который имеет высокое пространственное и временное разрешение.

Методика

Во время эксперимента участникам предъявлялись 8 псевдослов, каждое из которых построено из четырех фонем в соответствии с естественной фонетикой русского языка. Первые две фонемы одинаковы для всех псевдослов, а следующие две различаются; стимульный дизайн сбалансирован путем использования каждой из фонем в каждом классе стимулов (псевдослова, не требующие действия, и псевдослова, которым назначен смысл). Все стимулы выровнены по точке неоднозначности — началу последней гласной.

В ходе эксперимента участникам было предложено самостоятельно выяснить значение слов путем совершения в ответ на стимулы одного из четырех движений и получения обратной связи, сообщаемой о правильности или неправильности выполненного движения в соответствии с прозвучавшим словом. Четырем словам был назначен смысл — каждое связывалось с одним из четырех движений частями тела (нажатие на кнопки левой рукой и правой рукой, нажатие на педали левой ногой и правой ногой).

Весь эксперимент длился порядка двух часов и состоял из четырех блоков: (1) пассивное восприятие бессмысленных псевдослов, (2) обучающий блок, (3) блок с устойчивыми поведенческими ответами, (4) пассивное восприятие выученных слов. В контексте поставленных задач информативным является сравнение между двумя пассивными блоками — перед научением и после научения.

Мозговая активность зарегистрирована посредством магнитоэнцефалограммы (МЭГ), которая дает очень хорошее сочетание временного

и пространственного разрешений и позволяет измерять активность в любой области коры больших полушарий.

Результаты

Все 24 испытуемых справились с задачей.

Независимо от того, обрело псевдослово семантику или нет, мы наблюдали сильное подавление ответа, связанное с повторением. Статистический анализ показал, что эффект подавления при повторении наблюдается для обоих полушарий на интервале 50–400 мс после точки неоднозначности. Таким образом, можно говорить о том, что на все псевдослова сформировался стабильный фонологический след (фонологическая репрезентация слова). За счет большого количества повторений и активной задачи происходит привыкание к стимулам. Снижение реакции на псевдослова широко локализовано в перисильвилярных областях.

Разница реакции на стимулы разных типов была не значимой в пассивной сессии до обучения – после обучения реакция на псевдослова, ассоциированные с действием, стала значимо отличаться от реакции на контрольные псевдослова. Для того чтобы выявить эффекты, связанные с обретением семантики, мы анализировали взаимодействие между двумя факторами: типом стимула и номером пассивного блока (до и после обучения). Научение смыслу новых слов путем ассоциаций между словами и действиями селективным образом усилило фазово-связанный вызванный ответ на эти слова при пассивном прослушивании.

Руководствуясь полученными данными, не ограничивая поиск predeterminedными зонами интереса, мы обнаружили эффект в инсуле, комплексе Брока, внутритеменной борозде, области слухового парапоояса, теменном полюсе, все области были локализованы в левом полушарии (рис. 1). Различия в ответе на бессмысленные псевдослова и псевдослова с ассоциацией наблюдаются начиная со 150-й мс после произнесения первого слога (одинакового для всех псевдослов) и длятся до 360 мс. Выявлены зоны, которые отвечают за спектрально-временной анализ (слуховой парапоояс), зоны моторной коры, ответственные за артикуляцию (Брока комплекс), также найдены зоны, отвечающие за более высокоуровневый анализ слова – в частности, за ассоциативное связывание и внимание: теменной полюс (Sharon et al., 2011), внутритеменная борозда (Katzev et al., 2013), инсула (Augustine, 1996).

Обсуждение и выводы

Мы показали, что при выучивании псевдослов протекают два процесса. Первый – фонологическое ознакомление мозга с псевдословом (формирование репрезентации для последовательности фонем). Второй – семантизация фонологической репрезентации. Выявлены высокоуровневые зоны, участвующие в кодировании семантики (теменной полюс, вентральная премоторная кора). Латентность эффекта в высокоуровневых зонах соотносится с компонентом N400, традиционно связываемым с семантическим анализом слова.

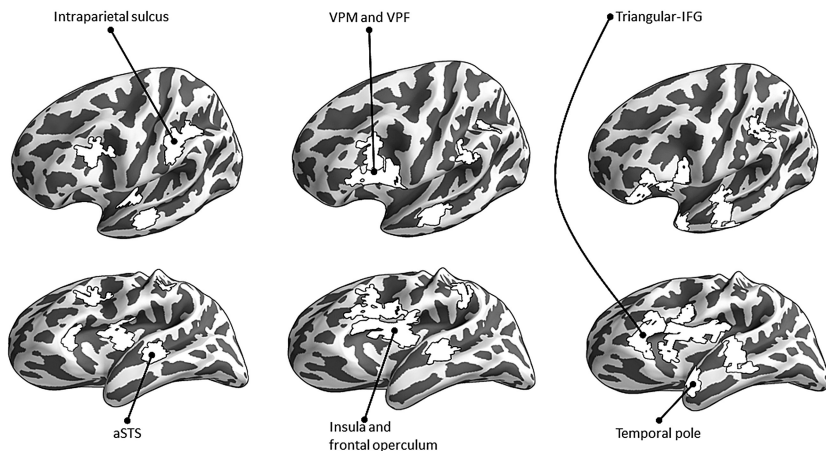


Рисунок 1. Зоны, связанные с приобретением словом смысла

Данные нашего эксперимента позволяют сказать, что семантика оказывает влияние на формирование и укрепление фонологической репрезентации слова. Полученный интервал 150 – 360 мс включает в себя «досемантический» компонент P200. В этом контексте стоит отметить активную работу комплекса Брока и при пассивном прослушивании псевдослов с ассоциацией. Это говорит в пользу артикуляционной теории восприятия речи Либермана (Venezia et al., 2016, Liberman, Mattingly, 1985).

Вероятно, слова, обретшие смысл путем ассоциативного обучения, мозг стремится запомнить и научиться эффективно распознавать. Для этого фонологический детектор настраивается на «осмысленное» сочетание звуков. Подобные механизмы пластичности рецептивных полей обнаружены для нейронов слуховой коры в исследованиях, посвященных оперантному научению (Kato et al., 2003; Weinberger et al., 2004). Текущую экспериментальную задачу можно свести к задаче оперантного научения, и факт, что мы наблюдаем эффект настройки рецептивных полей в классических речевых зонах, может указать на то, что научение языку задействует аналогичные механизмы для успешного распознавания речи.

Слова, недавно обретшие смысл, вызывают ответ довольно обширной сети. Это можно объяснить новизной задачи: эксперимент длился менее двух часов, за это время нельзя ожидать, что произойдет «консолидация опыта» и сформируется «оптимальная» нейронная сети для решения текущей задачи (Haier et al., 1992; Martin et al., 2000).

Литература

Augustine J. R. Circuitry and functional aspects of the insular lobe in primates including humans // Brain Research Reviews. 1996. Vol. 22. No. 3. P. 229 – 244. doi:10.1016/s0165-0173(96)00011-2

Davis M. H., Gaskell M. G. A complementary systems account of word learning: Neural and behavioural evidence // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2009. Vol. 364. No. 1536. P. 3773 – 3800. doi:10.1098/rstb.2009.0111

Haier R. J., Siegel B. V., MacLachlan A., Soderling E., Lottenberg S., Buchsbaum M. S. Regional glucose metabolic changes after learning a complex visuospatial/motor task: A positron emission tomographic study // *Brain Research*. 1992. Vol. 570. No. 1–2. P. 134 – 143. doi:10.1016/0006-8993(92)90573-R

Kato H. K., Gillet S. N., Isaacson J. S. Flexible sensory representations in auditory cortex driven by behavioral relevance // *Neuron*. 2015. Vol. 88. No. 5. P. 1027 – 1039. doi:10.1016/j.neuron.2015.10.024

Katzev M., Tuscher O., Hennig J., Weiller C., Kaller C. P. Revisiting the functional specialization of left inferior frontal gyrus in phonological and semantic fluency: The crucial role of task demands and individual ability // *Journal of Neuroscience*. 2013. Vol. 33. No. 18. P. 7837 – 7845. doi:10.1523/jneurosci.3147-12.2013

Kimppa L., Kujala T., Leminen A., Vainio M., Shtyrov Y. Rapid and automatic speech-specific learning mechanism in human neocortex // *NeuroImage*. 2015. Vol. 118. P. 282 – 291. doi:10.1016/j.neuroimage.2015.05.098

Liberman A. M., Mattingly I. G. The motor theory of speech perception revised // *Cognition*. 1985. Vol. 21. No. 1. P. 1 – 36. doi:10.1016/0010-0277(85)90021-6

Sharon T., Moscovitch M., Gilboa A. Rapid neocortical acquisition of long-term arbitrary associations independent of the hippocampus // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2011. Vol. 108. No. 3. P. 1146 – 1151. doi:10.1073/pnas.1005238108

Shtyrov Y. Fast mapping of novel word forms traced neurophysiologically // *Frontiers in Psychology*. 2011. Vol. 2. P. 1 – 9. doi:10.3389/fpsyg.2011.00340

Shtyrov Y., Nikulin V. V., Pulvermuller F. Rapid cortical plasticity underlying novel word learning // *Journal of Neuroscience*. 2010. Vol. 30. No. 50. P. 16864 – 16867. doi:10.1523/jneurosci.1376-10.2010

van Turennout M., Ellmore T., Martin A. Long-lasting cortical plasticity in the object naming system // *Nature Neuroscience*. 2000. Vol. 3. No. 12. P. 1329 – 1334. doi:10.1038/81873

Venezia J. H., Fillmore P., Matchin W., Lisette Isenberg A., Hickok G., Fridriksson J. Perception drives production across sensory modalities: A network for sensorimotor integration of visual speech // *NeuroImage*. 2016. Vol. 126. P. 196 – 207. doi:10.1016/j.neuroimage.2015.11.038

Weinberger N. M. Specific long-term memory traces in primary auditory cortex // *Nature Reviews Neuroscience*. 2004. Vol. 5. No. 4. P. 279 – 290. doi:10.1038/nrn1366

WHAT MAKES A WORD A WORD?

A. M. Razorenova* (1, 2), B. Chernyshev (1, 2, 3), N. Tyulenev (1), A. Nikolaeva (1), A. Prokofyev (1), T. Stroganova (1)

razoral@ya.ru

1 – Moscow State University of Psychology and Education, Moscow; 2 – Higher School of Economics, Moscow; 3 – Lomonosov Moscow State University, Moscow

Abstract. A stable association between words and objects or events underlies human speech. Today it is rather challenging for neuroscientists to describe how lexicality is established in the human brain, and how phonological word representations relate to lexicality. The current study aimed to use a trial-and-error learning paradigm to establish new associations between pseudowords and actions. We addressed two questions: when and where processes associated with lexicality take place in the human brain, and how newly formed associations

influence the phonological processing of pseudowords. Participants were presented with eight pseudowords; during learning blocks, four of them were assigned to specific body part movements through commencing actions by one of participant's left or right extremities and receiving feedback. The other pseudowords did not require actions. Magnetoencephalograms were recorded during passive listening to the pseudowords before and after the learning blocks. The cortical sources of the magnetic evoked responses were reconstructed using distributed source modeling. Phase-locked neural response selectively increased for pseudowords with acquired association compared with control pseudowords. Using a data-driven approach, we localized significant differential activation in the left hemisphere, including the insula, Broca's complex, the intraparietal sulcus and the anterior STS-MTG. Differential activation started 150 ms after the uniqueness point. These areas can be viewed as both low-tier (STS), and higher-tier (intraparietal sulcus, temporal pole) structures involved in speech processing. Our results demonstrate the active involvement of a phonological loop in semantic access during initial word learning, which agrees with Lieberman's motor theory of speech perception.

Keywords: pseudowords, word meaning, semantics, phonological learning, trial-and-error learning, magnetoencephalography, MEG