

# 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

## ТЕОРИЯ СИМУЛЯЦИИ: ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА

А. Ю. Николаева\* (1), М. Б. Гончаренко (2)

[anastasia.y.nikolaeva@gmail.com](mailto:anastasia.y.nikolaeva@gmail.com)

1 — МГППУ, Москва; 2 — МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва

**Аннотация.** Теория воплощенного познания — быстро растущий подход в современной когнитивной науке, который строится на предположении о том, что все когнитивные процессы, в том числе речь, базируются на прошлом опыте. Теория симуляции, развивающаяся в рамках данного направления, постулирует, что при восприятии глаголов движений конечностей должна происходить реактивация сенсомоторных структур, соответствующих семантике глаголов (так, при предъявлении глагола «рисовать» должна наблюдаться активация в зоне представительства руки). Такая активация должна приводить к интерференции по соматотопическому принципу при предъявлении глаголов движений рук и ног во время совершения моторных реакций этими конечностями. Цель работы — анализ этой интерференции. Перед испытуемыми (14 женщин, 17 мужчин, средний возраст 28 лет) стояла семантическая задача — определить конкретность/абстрактность глаголов. Испытуемые отвечали либо рукой, либо ногой, как правой, так и левой в зависимости от серии эксперимента. Результаты исследования показали, что обработка семантической информации о глаголах движения интерферирует с одновременными произвольными движениями конечностей, но не по соматотопическому принципу: предъявление глаголов руки замедляло реализацию любых движений. Результаты интерпретируются с точки зрения расширенной теории симуляции.

**Ключевые слова:** речь, моторный контроль, нейронные репрезентации движения, премоторная кора, правые конечности, левые конечности, воплощенное познание, семантическая соматотопия, обработка речевой информации

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

### Введение

Один из ключевых вопросов современной когнитивной науки — каким образом слову присваивается его лексическое значение и в какой форме оно далее хранится. Согласно классическим представлениям, семантика слова хранится в виде абстрактных амодальных символов, а слова произвольно связаны со своими референтами; фонетика слов никак не связана с означаемым ими объектом или явлением (Chomsky, 1980; Pinker, 1994).

Однако не так давно возник альтернативный взгляд на то, как связаны значение слова и словоформа. Этот подход является частью большого направления в науке, которое на данный момент набирает популярность, — теории

воплощенного познания. К этому направлению относят множество теорий познания, общей чертой которых является представление о том, что сознание напрямую зависит от пережитого телесного опыта и все когнитивные процессы (в том числе речевые) протекают с опорой на прошлый телесный опыт (Barsalou, 1999). В рамках языковых исследований на базе этого направления нам бы хотелось выделить теорию симуляции, которая постулирует, что процесс извлечения значения (слова или предложения) — это акт неосознаваемой симуляции сенсомоторного опыта взаимодействия с окружающей средой, связанного с данной семантической единицей, и эта симуляция отражается в обязательной активации сенсомоторных структур мозга (Pulvermüller, 1999). Поведенческие исследования — один из самых доступных методов изучения связи между отделами мозга, отвечающими за речь и движения. С помощью таких методов были обнаружены тонкие эффекты фасилитации и интерференции процессов понимания значения предложений, описывающих различные действия руки, и инициации соответствующих движений. Так, в серии работ был открыт эффект, получивший название ACE — Action-sentence compatibility effect (Glenberg, Kaschak, 2002). Схема эксперимента, в котором был выявлен ACE-эффект, основана на совпадении или несовпадении значения предложений с организацией движения человека, с помощью которого он дает ответ о том, что значение им воспринято. В целом чрезвычайная устойчивость и воспроизводимость ACE-эффекта свидетельствует о том, что внутренние ресурсы, которые использует мозг при декодировании значения действий руки, частично перекрываются с механизмами, задействованными при совершении этих же действий. Однако эти результаты не дают однозначного свидетельства именно в пользу теории симуляции, их можно объяснить, например, наличием связи речевых зон и зоны, отвечающей за движения руки, которая была сформирована в ходе эволюции (Corballos, 2002). Основным недостатком такого рода работ — отсутствие использования ног как эффекторов, в то время как для надежного доказательства симуляции слов необходим перекрестный дизайн. Также мы полагаем, что использование более простого стимульного материала — отдельных слов, но не предложений, — представит более надежные результаты. Только в таком случае мы можем утверждать, что на моторный ответ повлияло извлечение семантики конкретного слова, в то время как при предъявлении предложений на моторный ответ могут также влиять процессы воображения целостной ситуации, описываемой в предложении. Можно ожидать, что если для извлечения значения сказанного слова должно произойти проигрывание сложно организованного моторного акта, сопряженное с семантическим декодированием означающего его глагола, то этот процесс должен затруднить настройку противоположного, конкурирующего с ним действия, так как известно, что несколько движений, пусть даже разными конечностями, не могут быть спланированы независимо друг от друга и одновременное их планирование приводит к погрешностям в реализации (Oostwoud, Wijdenes, 2016). Например, при предъявлении глаголов руки в случае необходимости совершать движение ногой мы можем ожидать замедление моторной реакции по сравнению с условием, где нужно двигать рукой. Симметричную реакцию мы ожидаем при предъявлении слов, описывающих движения ног. Только

в таком случае мы сможем говорить о надежных поведенческих свидетельствах в пользу теории симуляции.

### **Методика**

В нашем исследовании мы использовали экспериментальную схему, описанную в статье (Mirabella et al., 2012), с целью верифицировать эти результаты на русском языке и дополнить их. Принципиальным отличием было применение так называемого перекрестного дизайна, то есть в качестве эффекторов использовались не только обе руки, но и обе ноги. В качестве стимулов использовались глаголы, описывающие действия рук и ног, а также абстрактные глаголы. Ввиду отсутствия подходящего словаря абстрактности глаголов, перед основным экспериментом мы провели дополнительный, целью которого было выяснить степень абстрактности или конкретности глаголов. Испытуемыми выступили 43 добровольца – носители языка, каждый из которых оценивал степень конкретности/абстрактности у 100 предварительно отобранных глаголов по семибальной шкале (1 – очень трудно представить действие, соответствующее данному глаголу, 7 – очень легко). По итогам этого исследования на основе статистического анализа были отобраны глаголы для предъявления в основном эксперименте. Они все были уравнены по среднему числу букв и частоте встречаемости. Глаголы, описывающие действия рук, в среднем не отличались по степени конкретности от глаголов действий ног.

Перед испытуемыми (31 взрослый испытуемый, из них 14 женщин, все в возрасте от 21 до 38 лет, правши, не принимавшие участие в предварительном эксперименте) стояла задача выполнить лексико-семантическую задачу (определить конкретность/абстрактность глаголов, включавших глаголы движения рук, ног и абстрактные глаголы) и как можно быстрее дать ответ, который заключался в том, что необходимо было совершить моторное действие правой или левой рукой или ногой. Стимулы предъявляли на экране компьютера. В каждой экспериментальной сессии испытуемый давал ответ либо рукой, либо ногой, касаясь сенсорного экрана в определенном месте. Например, предъявлялись такие слова, как «шить», «пинать», «уделить». Если испытуемый считал, что слово конкретное (его легко представить), то он должен был совершить движение отвечающей конечностью и коснуться экрана в заданном месте. В противном случае конечность должна была оставаться неподвижной. В контрольной серии требовалось определить цвет шрифта, которым написано слово: если слово написано зеленым шрифтом, необходимо было совершить движение таким же образом, как и в экспериментальной серии. Время реакции испытуемых подсчитывали с помощью специальной программы.

### **Результаты**

Результаты исследования показали, что обработка лексико-семантической информации о глаголах движения интерферирует с одновременными произвольными движениями конечностей, но не по соматотопическому принципу.

Выполнение задачи на лексический выбор в сравнении с перцептивным выбором значимо удлиняло время реакции (Сессия:  $F(1, 29) = 64.8$ ;  $p < .0001$ ).

Среднее время реакции различалось между сессиями более чем на 150 мс, составив для экспериментального задания  $785.7 \pm 196.3$  мс, для контрольного задания –  $622.6 \pm 143.9$  мс, что говорит о значительном различии задач по сложности выполнения. Кроме того, движения ногами в обоих заданиях были значимо медленнее, чем движения руками (Конечность:  $F(1, 29) = 95.37$ ;  $p < .0001$ ), при существенных различиях во времени ответов ногами и руками: среднее время реакции при ответах руками составило  $600.8 \pm 144.9$  мс, а при ответах ногами –  $807.5 \pm 197.2$  мс.

Использование дисперсионного анализа позволило выявить основное взаимодействие экспериментальных факторов: если лексическое решение об абстрактности/конкретности принималось для глаголов движения руки, то сравнительно с глаголами движения ног оно замедляло движения как рук, так и ног с обеих сторон ( $F(1, 29) = 26.19$ ;  $p < .00002$ ). Различия в среднем времени реакции между глаголами движений рук и ног были минимальные (7 мс), но высокий уровень значимости этих различий свидетельствовал о том, что они проявлялись в ответах практически у всех испытуемых. Среднее время реакции руками и ногами при предъявлении глаголов движения рук и ног см. в табл. 1.

Таблица 1. Время реакции

	сл. рук движ. рук э/с	сл. рук движ. ног э/с	сл. рук движ. рук к/с	сл. рук движ. ног к/с	сл. ног движ. рук э/с	сл. ног движ. ног э/с	сл. ног движ. рук к/с	сл. ног движ. ног к/с
<i>M</i>	689.5	900.6	515.2	723.9	672.7	876.0	523.0	729.4
<i>SD</i>	163.2	247.0	134.1	173.7	169.4	229.6	141.2	174.0

В верхней строчке указано экспериментальное условие, для которого посчитано среднее время (*M*) реакции (в мс) и стандартное отклонение (*SD*) для движений рук и ног. Обозначения в таблице: э/с – экспериментальная серия, к/с – контрольная серия, сл. рук – слова, обозначающие движения руками, сл. ног – слова, обозначающие действия ногами, движ. рук – движения, совершаемые руками (время реакции указано для правых и левых рук вместе), движ. ног – движения, совершаемые ногами (время реакции указано для правых и левых ног вместе)

При принятии перцептивного решения о цвете шрифта глагола в контрольной серии глаголы движений рук имели обратное влияние и ускоряли моторный ответ, осуществляемый любой конечностью ( $F(1, 29) = 6.4$ ;  $p < .02$ ).

## Обсуждение и выводы

Подавляющее число исследований с использованием технологий нейровизуализации (Shtyrov, 2014), в которых неоднократно демонстрировалось наличие словоспецифической соматотопической активации в зонах моторной коры при обработке глаголов движений, с одной стороны, предполагают раннюю стадию реактивации моторной коры, а с другой стороны, заставляют предположить, что не исключена ситуация, что процесс реактивации моторных зон с целью извлечения значения обладает меньшей мощностью по сравнению с поздними процессами, например процессом воображения действия. Если

любой глагол воспринимается как инструкция (Postle et al., 2008), такого воображения не избежать. В таком случае полученные результаты можно было бы объяснить тем, что, вопреки предварительному исследованию, при реализации основного эксперимента испытуемым было сложнее представить действие руки, чем действие ноги, что вызывало замедление любых моторных ответов. Но более вероятным нам видится другое объяснение.

Несмотря на большое число исследований с использованием нейровизуализации, процесс симуляции не изучен достаточно: все еще нет надежных данных о его временной динамике (существуют только общие предположения о том, что это должен быть ранний процесс), а также о пространственной архитектуре процесса. Практически все экспериментальные работы направлены на изучение активации первичных сенсорных зон, которые отдают команды мотонейронам, по сути занимаются исключительно реализацией предполагаемого действия. В то время как если мы говорим о «симуляции сенсомоторного опыта взаимодействия с окружающей средой», то логично было бы предположить, что в процессе симуляции сложного поведения явно должны быть задействованы области моторной коры, отвечающие за планирование и контроль сложного поведения (высшие ассоциативные области моторной коры). В пользу этого предположения говорят фМРТ-исследования, демонстрирующие активацию ассоциативных областей моторной коры левого полушария при реализации как сложной последовательности движений руки, так и при глубокой обработке глаголов и – в меньшей степени – при их пассивном чтении (Bedny, Thompson-Schill, 2006). Мы предполагаем, что движения, которые человек совершает руками (писать, резать, вязать), в большей степени нуждаются в тонком моторном контроле, чем автоматизированные движения при ходьбе и беге. Поэтому лексическая обработка таких глаголов может в большей степени задействовать области мозга, вовлеченные в инициацию и контроль произвольных движений, тем самым замедляя любой произвольный моторный акт, совершаемый как рукой, так и ногой. В контрольном условии, при отсутствии семантической задачи, восприятие испытуемыми глаголов движения руки (как обычно) усиливает активацию высших ассоциативных зон, но не задействует их для дальнейшего семантического использования. Эта преактивация может облегчать и ускорять реализацию любых моторных ответов на глаголы движения руки как по сравнению с глаголами движения ноги, так и с абстрактными глаголами в контрольной сессии. Таким образом, возможно, представления теории симуляции можно расширить, включив туда не только (и не столько) первичные моторные области, но и высшие ассоциативные зоны моторной коры.

Выведенное предположение, безусловно, нуждается в дальнейшей проверке с помощью методов нейровизуализации, обладающих высоким временным разрешением, чтобы можно было восстановить максимально точно процесс симуляции прошлого опыта в ходе извлечения семантики слова.

## Литература

- Barsalou L. W.* Perceptual symbol systems // Behavioral and Brain Sciences. 1999. Vol. 22. No. 4. P. 577–660. doi:10.1017/s0140525x99002149
- Bedny M., Thompson-Schill S. L.* Neuroanatomically separable effects of imageability and grammatical class during single-word comprehension // Brain and Language. 2006. Vol. 98. No. 2. P. 127–139. doi:10.1016/j.bandl.2006.04.008
- Chomsky N.* Rules and representations // Behavioral and Brain Sciences. 1980. Vol. 3. No. 1. P. 1–15.
- Corballis M. C.* From hand to mouth: the origins of language. Princeton: Princeton University Press, 2002.
- Glenberg A. M., Kaschak M. P.* Grounding language in action // Psychonomic Bulletin & Review. 2002. Vol. 9. No. 3. P. 558–565. doi:10.3758/bf03196313
- Mirabella G., Iaconelli S., Spadacenta S., Federico P., Gallese V.* Processing of hand-related verbs specifically affects the planning and execution of arm reaching movements // PLoS ONE. 2012. Vol. 7. No. 4. P. e35403. doi:10.1371/journal.pone.0035403
- Oostwoud Wijdenes L., Ivry R., B., Bays P., M.* Competition between movement plans increases motor variability: evidence of a shared resource for movement planning // Journal of Neurophysiology. 2016. Vol. 116. No. 3. P. 1295–1303. doi:10.1152/jn.00113.2016
- Pinker S., Prince A.* Regular and irregular morphology and the psychological status of rules of grammar // The reality of linguistic rules. John Benjamins Publishing Company, 1994. P. 321–352. doi:10.1075/slcs.26.21pin
- Postle N., McMahon K., L., Ashton R., Meredith M., de Zubicaray G. I.* Action word meaning representations in cytoarchitecturally defined primary and premotor cortices // NeuroImage. 2008. Vol. 43. No. 3. P. 634–644. doi:10.1016/j.neuroimage.2008.08.006
- Pulvermüller F.* Words in the brain's language // Behavioral and Brain Sciences. 1999. Vol. 22. No. 2. P. 253–279.
- Shtyrov Y., Butorina A., Nikolaeva A., Stroganova T.* Automatic ultrarapid activation and inhibition of cortical motor systems in spoken word comprehension // PNAS. 2014. Vol. 111. No. 18. P. E1918–E1923. doi:10.1073/pnas.1323158111

## SIMULATION THEORY: BEHAVIORAL EVIDENCE

A. Y. Nikolaeva\* (1), M. B. Goncharenko (2)

[anastasia.y.nikolaeva@gmail.com](mailto:anastasia.y.nikolaeva@gmail.com)

1 – MSUPE, Moscow; 2 – MSU, Moscow

**Abstract.** Embodied cognition is one of the most popular approaches in modern cognitive science. In its foundation is the idea that all cognitive processing (including speech) deeply depends upon characteristics of the agent's body and its past experience. According to simulation theory, which is one of the threads of embodied cognition, when we perceive verbs related to our limb movements, in the brain there should be reactivation of the sensory-motor areas corresponding to the verb's semantics which are associated with the word form in the past. For example, when someone hears the verb "to draw" we could see activation in his hand area. If in parallel a movement of the same limb should be made, we suppose that understanding the verb's semantics should interfere with making this movement. The purpose of the present study was to investigate this interference using the behavioral go/no-go paradigm in which healthy participants (14 female, 17 male, mean age 28) were asked to perform hand or feet reaching movements toward a target during the semantic task, which include hand related verbs, foot related verbs and abstract verbs. Participants had to identi-



fy whether the verb was abstract or not, and if so to make the movement. We did not obtain any evidence showing that lexico-semantic retrieval of the verbs referring to a particular limb specifically modulates its motor responses. We found that hand verbs interfered with movements of all limbs. Our interpretation of these results is based on the assumption that high order areas of the motor cortex are also included in simulation processes.

**Keywords:** speech, motor control, movement representation, premotor cortex, right limbs, left limbs, embodied cognition, semantic somatotopy, speech processing