

## ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ДВУХ СИСТЕМ ОЦЕНКИ КОЛИЧЕСТВА

Ю.А. МАРАКШИНА<sup>1\*</sup>, Т.В. АДАМОВИЧ<sup>1</sup>, М.М. ЛОБАСКОВА<sup>1</sup>,  
Ю.В. КУЗЬМИНА<sup>2</sup>, И.М. ЗАХАРОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ «Психологический институт Российской академии образования»,

<sup>2</sup> НИУ «Высшая школа экономики», Москва

В исследовании проверяются гипотезы об активации двух систем оценки количества в разных условиях доступа к визуальным параметрам стимулов. 23 участника (M=26,83 года, SD=9,78 лет) выполняли задачи на несимволическое сравнение количества, на перцептивную точность, на соотношение количества, представленного в несимволическом и символическом формате. В результате получены новые экспериментальные данные для объяснения когнитивных и психофизиологических механизмов несимволической оценки количества.

*Ключевые слова:* несимволическое чувство числа, символическое чувство числа, визуальные параметры, связанные с событиями потенциалы ЭЭГ.

DOI: 10.24412/2073-0861-2021-3-36-41

### Введение

В большом количестве исследований было продемонстрировано существование способности оценивать количество без подсчета или использования символов (цифр или слов, обозначающих числа) – приблизительной оценки количества (Approximate Number System, ANS) (Gebuis, Van Der Smagt, 2011) [2]. Точность ANS обычно оценивается с помощью теста несимволического сравнения, в котором нужно сравнить два массива объектов (например, точек) по количеству и выбрать самый большой. Теория ANS постулирует существование особой системы оценки количества и то, что сравнение количества может проводиться независимо от визуальных характеристик (например, совокупной или поверхностной площади, занимаемой объ-

ектами) (Burr, Ross, 2008 [1]; Viswanathan, Nieder, 2013 [5]). Однако в последние годы теория ANS подверглась критике. В частности, в рамках теории сенсорной интеграции утверждается без доказательства, что оценка количества основана на оценке различных визуальных свойств (Gevers et al., 2016) [3]. Другая теория, теория величины (A Theory of Magnitude, АТОМ) выдвигает представление, что ANS является частью более общей системы приблизительной величины (Approximate Magnitude System, AMS), которая включает в себя оценку размеров, пространства или времени (Walsh, 2003) [6]. Согласно этим теориям, человек может оценить количество только косвенно, определяя визуальные свойства.

Недавно была разработана новая модель несимволической оценки количества. Было высказано предположение, что несимволическая репрезентация количества обеспечивается параллельной работой двух подсистем: 1) подсистемой прямой оценки количества; 2) подсистемой непрямой оценки через сравнение различных визуальных параметров. Результаты каждой подсистемы могут иметь разный вклад в процесс оценки

© Маракшина Ю.А., Адамович Т.В., Лобаскова М.М., Кузьмина Ю.В., Захаров И.М., 2021

\* Для корреспонденции:

Маракшина Юлия Александровна  
кандидат психологических наук, научный сотрудник, ПИ РАО  
E-mail: retalika@yandex.ru

количества без использования символов. Вклад подсистем может зависеть от возможности доступа к сравнению визуальных свойств. Результаты анализа поведенческих данных подтвердили эту модель. Однако необходимы психофизиологические исследования для более детального рассмотрения механизма взаимодействия двух подсистем.

Настоящее исследование направлено на выявление психофизиологических механизмов функционирования двух подсистем оценки количества в разных условиях доступа к сравнению визуальных свойств, таких как гомо-/гетерогенность и отдельный/смешанный формат предъявления. В гомогенных условиях объекты имеют одинаковую форму. В гетерогенных условиях объекты имеют разные формы (например, круги и треугольники). Отдельный формат – в этом условии две группы объектов предъявляются в разных областях перцептивного поля, смешанный формат – в этом условии две группы объектов демонстрируются в одной и той же области перцептивного поля. Предполагается, что в условиях доступной оценки и сравнения визуальных параметров активируется система оценки количества с опорой на визуальные параметры. В условиях затрудненного сравнения больший вес имеет подсистема прямой оценки количества. Гомогенность/отдельность предъявления фигур могут быть отнесены к условиям облегченного доступа, в то время как гетерогенность/смешанность – к условиям затрудненного доступа.

Для проверки предположения о работе двух систем оценки количества в разных условиях было разработано два задания. Тест сравнения фигур разработан для оценки перцептивной точности – способности сравнения визуальных параметров, таких как площадь объектов. В данном задании не требуется несимволическое сравнение количества, а допускается то, что сравнение площадей осуществляется с опорой на визуальные параметры (в частности, анализ поверхностных площадей). Тест сравнения точек и чисел разработан

для оценки точности соотнесения количества, представленного в несимволическом формате, с символической репрезентацией количества. В этом задании, в отличие от предыдущего, сравнение визуальных параметров сведено к минимуму. Тест сине-желтых точек (на несимволическое сравнение) сконструирован таким образом, что в некоторых условиях предъявления стимулов визуальные параметры легкодоступны для зрительной системы (условие облегченного доступа), в других – доступ к зрительным признакам затруднен (условие затрудненного доступа). Это позволяет осуществить проверку психофизиологических механизмов несимволического сравнения в разных условиях путем сопоставления их с механизмами, активирующимися в задачах сравнения фигур и сравнения точек и чисел. Индикаторами психофизиологических механизмов приняты компоненты N1/P2 связанных с событиями потенциалов (ССП) (например, Soltész, Szűcs, 2014) [4]. Таким образом, сформулированы следующие гипотезы:

1. Компоненты N1/P2 ССП, зарегистрированные во время условия облегченного доступа (в тесте сине-желтых точек), значительно отличаются от аналогичных компонентов, которые регистрируются при выполнении задачи сравнения фигур, что указывает на активацию системы оценки количества, основанной на визуальных параметрах.

2. Компоненты N1/P2 ССП, зарегистрированные во время условия затрудненного доступа (в тесте сине-желтых точек), значительно отличаются от аналогичных компонентов, которые регистрируются во время задачи сопоставления точек и чисел, что указывает на активацию системы прямой оценки количества.

## Методика

*Методы исследования.* 23 участника в возрасте от 18 до 52 лет (22 женщины, 1 мужчина,  $M=26,83$  года,  $SD=9,78$  лет) выполняли несколько задач: тест несимволи-

ческого сравнения «Сине-желтые точки», задача «Сравнение фигур», задача «Сравнение точек и чисел».

*Тест несимволического сравнения «Сине-желтые точки»* (рис. 1).

Испытуемому в течение 400 мс предъявлялись массивы синих и желтых точек в двух форматах (раздельный с гомогенными фигурами и смешанный с гетерогенными фигурами); необходимо было оценить, какой из массивов больше. Для каждого формата презентации были включены два типа пропорций между сравниваемыми наборами: простые (соотношение варьировало от 0,47 до 0,53) и сложные (соотношение от 0,72 до 0,77). Для каждого формата и типа пропорции в половине случаев стимулы совпадали по двум визуальным параметрам (поверхностная и совокупная площадь), то есть были конгруэнтными;

в другой половине стимулы не совпадали (были неконгруэнтны) по этим параметрам. Следовательно, стимулы предъявлялись в 8 условиях.

1. Гомогенные/раздельные, конгруэнтные. Простая пропорция, круги.
2. Гомогенные/раздельные, неконгруэнтные. Простая пропорция, круги.
3. Гетерогенные/смешанные, конгруэнтные. Простая пропорция.
4. Гетерогенные/смешанные, неконгруэнтные. Простая пропорция.
5. Гомогенные/раздельные, конгруэнтные. Сложная пропорция, круги.
6. Гомогенные/раздельные, неконгруэнтные. Сложная пропорция, круги.
7. Гетерогенные/смешанные, конгруэнтные. Сложная пропорция.
8. Гетерогенные/смешанные, неконгруэнтные. Сложная пропорция.

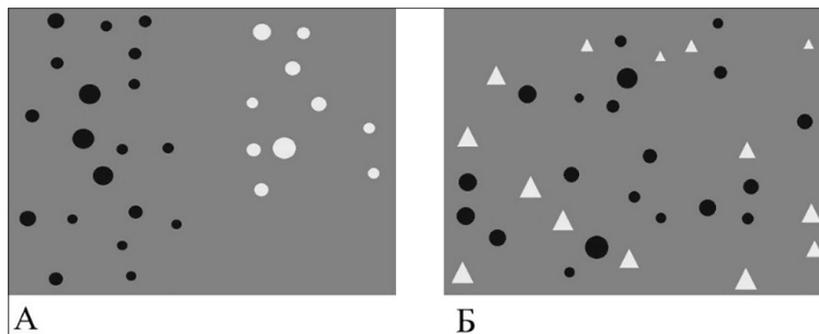


Рис. 1. Примеры стимулов в тесте сине-желтых точек. А. Конгруэнтные по поверхностной площади (большее количество объектов занимает большую площадь в пространстве). Б. Неконгруэнтные по поверхностной площади (большее количество объектов занимает меньшую площадь в пространстве)

*Тест сравнения фигур* (рис. 2). Испытуемому в течение 400 мс предъявлялись синие и желтые фигуры; необходимо было

оценить, какая из фигур больше. В данном задании использовалась сложная пропорция между площадями (0,72–0,77).

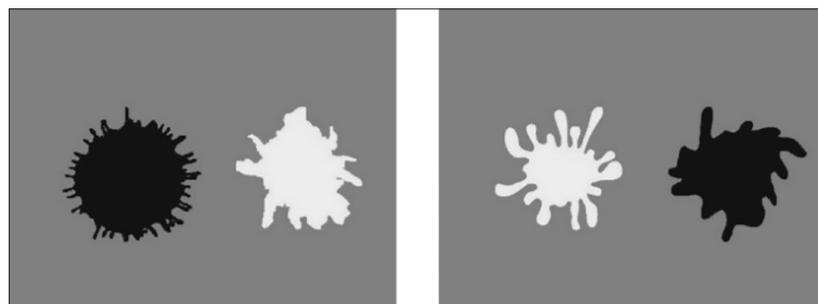


Рис. 2. Примеры стимулов в тесте сравнения фигур

*Тест сравнения точек и чисел* (рис. 3). Респонденту предъявлялись числа и точки; необходимо было оценить, в какой форме больше количество – в виде точек или в виде чисел. В задании включалось условие

со сложной пропорцией: числа варьировали от 10 до 16, количество точек – в промежутке от 7 до 22. То есть, сложная пропорция находилась в промежутке от 0,70 до 0,78.

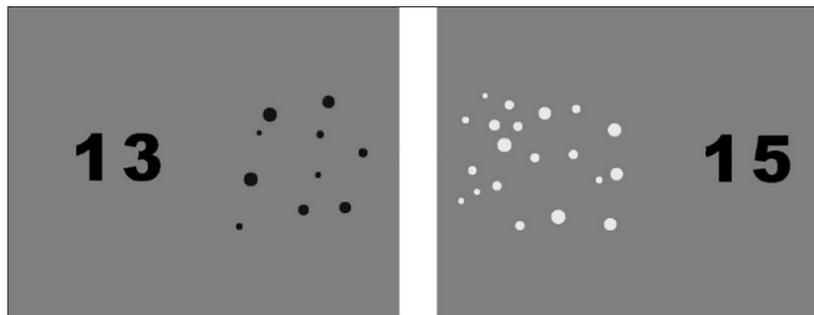


Рис. 3. Примеры стимулов в тесте сравнения точек и чисел

Одновременно с выполнением задач регистрировались данные электроэнцефалограммы (ЭЭГ) с 64 активных электродов (международная система 10–10, усилитель Brain Products ActiChamp, Brain Products, Мюнхен, Германия). На каждое условие предъявления стимулов в тесте сине-желтых точек регистрировались связанные с событием потенциалы (ССП). Также СПП регистрировались на момент предъявления фигур в задаче сравнения фигур и на момент предъявления точек и чисел в соответствующей задаче. Предобработка данных ЭЭГ включала в себя фильтрацию сигнала в диапазоне 1–30 Гц, изменение частоты дискретизации до 250 Гц, в качестве референта использовался REST. Удаление глазодвигательных артефактов осуществлялось автоматически с помощью анализа независимых компонент (Independent Component Analysis, ICA), удаление иных артефактов проводилось с помощью метода автоматического удаления артефактов autoreject. Размер окна для СПП составлял от -0,3 до 0,3 секунды, так как анализ проводился по компонентам N1/P2 СПП, регистрируемым в данном временном диапазоне. Усреднение проводилось по всей выборке целиком (grand average). Статистический анализ различий между условиями предъявления стимулов осуществлялся с помощью пермутационного кластерного

теста. Для анализа СПП применялся метод попарных сравнений для четырех условий (для гомогенных и гетерогенных условий в тесте сине-желтых точек, условия сравнения фигур, условия сравнения точек и чисел в соответствующих задачах).

При дальнейшем анализе данных за условие облегченного доступа были приняты условия 1, 2, 5, 6 (включали все условия облегченного доступа к зрительным стимулам – отдельный формат с гомогенными фигурами). За условие затрудненного доступа были приняты условия 3, 4, 7, 8 (включали все условия затрудненного доступа к зрительным стимулам – смешанный формат с гетерогенными фигурами). Для проверки гипотезы 1 и гипотезы 2 сопоставлялись СПП в гомогенном условии (условия 1, 2, 5, 6) и задании сравнения фигур, а также СПП в гетерогенном условии (условия 3, 4, 7, 8) и задании сравнения точек и чисел, соответственно.

### Результаты и обсуждение

В результате сравнения по четырем условиям были получены следующие СПП (рис. 4). Значимые различия получены при попарном сравнении между двумя условиями (сравнения фигур и сравнения точек и чисел). При попарном сравнении гомоген-

ного условия (облегченного доступа к визуальным параметрам) теста сине-желтых точек и условия сравнения фигур значимых различий между ними не выявлено. При попарном сравнении гетерогенного условия (затрудненного доступа к визуальным пара-

метрам) теста сине-желтых точек и условия сравнения точек и чисел значимых различий также не обнаружено. Это позволяет говорить о подтверждении выдвинутых гипотез. Попарные сравнения между другими условиями значимых различий не установили.

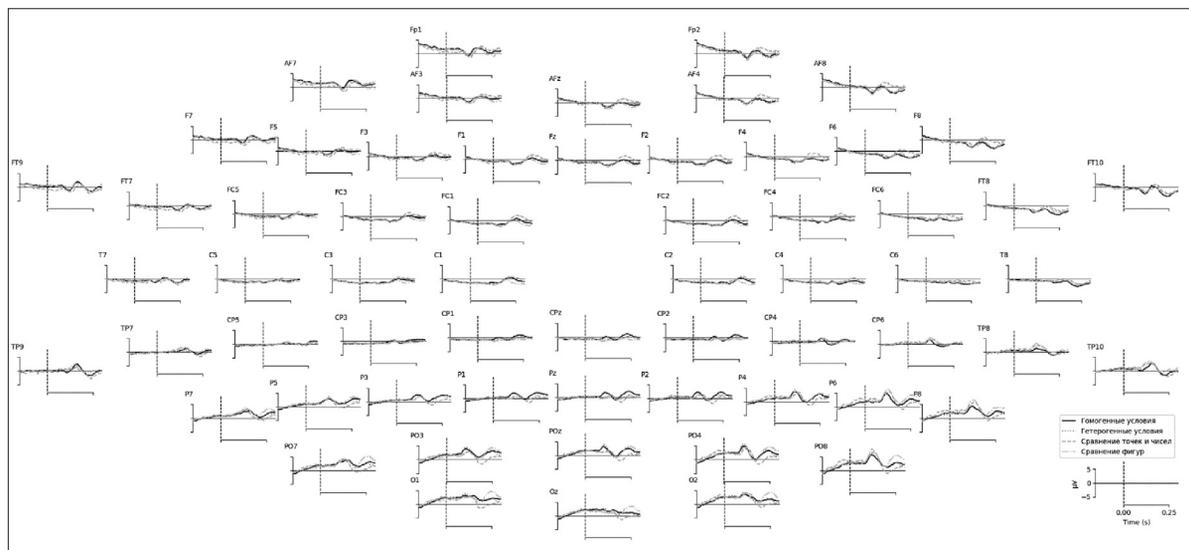


Рис. 4. Связанные с событиями потенциалы по всем отведениям, усредненные по группе участников исследования

## Заключение

Результаты проведенного исследования позволяют сделать выводы о подтверждении выдвинутых гипотез. Показано, что:

1. В условиях облегченного доступа к визуальным параметрам активируется система оценки количества, основанной на визуальных параметрах.

2. В условиях затрудненного доступа к визуальным параметрам активируется система прямой (непосредственной) оценки количества.

Однако отсутствие значимых различий между условиями в тех случаях, когда они были ожидаемы (в частности, между гомогенным условием и сравнением точек и чисел; между гетерогенным условием и сравнением фигур) требует дальнейшего анализа и может быть связано с эффектами, вызванными условиями, не относящимися к оценке визуальных параметров (конгруэнтность/неконгруэнтность, пропорция).

## Литература

1. Burr D., Ross J. A visual sense of number // *Current Biology*. – 2008. – Vol. 18. – No. 6. – P. 425–428.
2. Gebuis T., Van Der Smagt M.J. False approximations of the approximate number system? // *PloS one*. – 2011. – Vol. 6. – No. 10. – e25405. doi: 10.1371/journal.pone.0025405.
3. Gevers W., Kadosh R.C., Gebuis T. Sensory integration theory: An alternative to the approximate number system / In: *Continuous issues in numerical cognition*. – Academic Press, 2016. – P. 405–418.
4. Soltész F., Szűcs D. Neural adaptation to non-symbolic number and visual shape: An electrophysiological study // *Biological Psychology*. – 2014. – Vol. 103. – P. 203–211.
5. Viswanathan P., Nieder A. Neuronal correlates of a visual «sense of number» in primate parietal and prefrontal cortices // *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*. – 2013. – Vol. 110. – No. 27. – P. 11187–11192.
6. Walsh V. A theory of magnitude: common cortical metrics of time, space and quantity // *Trends in Cognitive Sciences*. – 2003. – Vol. 7. – No. 11. – P. 483–488.

## References

1. Burr D., Ross J. A visual sense of number. *Current Biology* 2008; 18(6):425–428.
2. Gebuis T., Van Der Smagt M.J. False approximations of the approximate number system? // *PloS one* 2011; 6(10): e25405. doi: 10.1371/journal.pone.0025405.
3. Gevers W., Kadosh R.C., Gebuis T. Sensory integration theory: An alternative to the approximate number system. In: *Continuous issues in numerical cognition*. Academic Press, 2016:405–418.
4. Soltész F., Szűcs D. Neural adaptation to non-symbolic number and visual shape: An electrophysiological study. *Biological Psychology* 2014; 103:203–211.
5. Viswanathan P., Nieder A. Neuronal correlates of a visual «sense of number» in primate parietal and prefrontal cortices. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA* 2013; 110(27):11187–11192.
6. Walsh V. A theory of magnitude: common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in Cognitive Sciences* 2003; 7(11):483–488.

## PSYCHOPHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF TWO QUANTITY SYSTEMS

J.A. MARAKSHINA<sup>1</sup>, T.V. ADAMOVICH<sup>1</sup>, M.M. LOBASKOVA<sup>1</sup>,  
Yu.V. KUZMINA<sup>2</sup>, I.M. ZAKHAROV<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Psychological Institute of Russian Academy of Education,*  
<sup>2</sup> *Higher School of Economics, Moscow*

The study tests hypotheses about the activation of two quantity systems in different conditions of access to stimuli visual parameters. 23 participants (M=26,83 years, SD=9,78 years) performed tasks for non-symbolic comparison of quantities, for perceptual accuracy, for comparison of non-symbolic and symbolic quantities. As a result, new experimental data were obtained to explain the cognitive and psychophysiological mechanisms of the non-symbolic numerosity representation.

*Keywords:* non-symbolic number sense, symbolic number sense, visual parameters, EEG event-related potentials.

### Address:

Marakshina J.A., Ph.D.

Research Associate, Psychological Institute of Russian Academy of Education,

E-mail: retalika@yandex.ru