

Секция «Психофизиология, когнитивные нейронауки и искусственный интеллект»

Исследование психофизиологических механизмов решения примеров с обыкновенными дробями в зависимости от правильности ответа

Научный руководитель – Фомина Анна Сергеевна

Гануша Кристина Юрьевна

Студент (магистр)

Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Дмитрия Иосифовича Ивановского, Кафедра физиологии человека и животных, Ростов-на-Дону, Россия

E-mail: ganusha.kristina@yandex.ru

На основании современных данных нейробиологии и психофизиологии решение математических задач является сложной составной деятельностью, требующей активации как специфических областей коры, связанных с ментальной арифметикой и когнитивными процессами, так и нейросетей, обеспечивающих поддержание активного бодрствования. Решение примеров с дробями является переходным этапом от простых арифметических действий к сложным алгебраическим вычислениям, и требует применения жесткого алгоритма решения, при отклонении от которого возникают ошибки.

В немногочисленных исследованиях нейробиологического обеспечения данного типа задач получены достаточно противоречивые результаты. Доказано, что решение примеров с дробями требует билатеральной активации нижнетеменных, затылочно-височных и левой предсильвиевой областей, и предполагает общность нейронного представительства целых и дробных чисел [1]. Это подчеркивает особую научно-практическую значимость исследования данной проблемы.

Цель работы - изучить психофизиологические механизмы решения примеров на сложение и деление обыкновенных дробей в зависимости от правильности ответа. Обследовано 30 человек ($21,4 \pm 0,8$ лет), праворукие. Использовались блоки примеров на сложение и деление дробей. Каждый блок примеров состоял из тренировочной (5 заданий, напоминание алгоритма) и основной (30 заданий, выполнение алгоритма) части. Участники нажимали на кнопку при выполнении этапов решения. ЭЭГ регистрировалась с использованием энцефалографа-анализатора «Энцефалан-131-03» по схеме 10-20 в 21 отведении. Рассчитывалось время и качество решения, число и длительность этапов, и показатели диапазонов ЭЭГ. Достоверность различий оценивалась с использованием многофакторного дисперсионного анализа ANOVA при уровне значимости $p \leq 0,05$ с применением критерия Фишера. Анализ проводился отдельно для правильно и неправильно решенных примеров.

Анализ поведенческих параметров показал, что качество решения примеров тренировочного блока было выше при сложении (72,9% и 63,6%). Для основных блоков различий не выявлено (55% при сложении и 55,2% при делении). При сложении время решения тренировочного блока было ниже в сравнении с основным независимо от правильности; для деления правильное решение требовало меньше времени. Правильное решение требовало выполнения 3 этапов, а неправильное - 2. Вероятно, снижение количества этапов при сложении связано с их комплексированием и частичным перекрытием, а при делении возможны как комплексирование, так и пропуск отдельных этапов в зависимости от сложности задачи и правильности решения.

При анализе динамики значений спектральной мощности диапазонов ЭЭГ (СМ ЭЭГ) для обеих задач показана сходная динамика: формировались лобно-центральные фокусы тета-диапазона, и теменно-затылочные фокусы альфа- и бета-диапазона, что приводило к формированию фронто-окципитальной асимметрии. В тренировочном блоке большие

значения СМ ЭЭГ выявлены при неправильном решении, а в основном - при правильном, что отражало различный подход к припоминанию/выполнению алгоритма.

Анализ распределения когерентных связей в вовлекаемых областях показал, что основные изменения были сходны для двух задач и связаны с тета-частотами, где сохранялись высокие значения между билатеральными лобными, центральными и височными областями, а также лобно-височными в левом полушарии. Анализ амплитудно-временных характеристик компонентов зрительного ССП позволил выявить более высокие значения при решении примеров на деление. При неправильном решении значения амплитуд компонентов N100, P300 и N400 были выше, а латентность - ниже, что отражало большее вовлечение когнитивных ресурсов ввиду роста сложности.

Таким образом, для рассматриваемых задач характерны разные подходы при припоминании и при выполнении алгоритма в зависимости от правильности решения. Для сложения в условиях припоминания алгоритма правильность решения не связана со временем, тогда как в условиях его выполнения неправильное решение занимало больше времени. Для деления затруднения были показаны только для неправильно решенных примеров в ситуации припоминания алгоритма, что связано с простотой задачи.

Для обеих задач при правильном решении примера определяющим фактором выступало количество этапов, а при неправильном - их длительность. При этом неправильное решение с сокращением количества и длительности этапов отражало отказ от деятельности ввиду высокой сложности. Рост длительности этапов связан с их комплексированием, а увеличение количества - с полной реализацией алгоритма.

Правильное решение примеров требовало концентрации активности в вовлекаемых областях коры, и поддержания единого уровня тета-диапазона, что наряду с десинхронизацией альфа-диапазона свидетельствовало о большей активации системы долговременной памяти и меньшей нагрузке на рабочую [2]. Можно предположить, что правильное решение связано с доминированием системы долговременной памяти и активирующими влияниями кортико-гиппокампальной системы [3], вовлечением фронто-таламической системы, активация которой связана с произвольным вниманием.

Неправильное решение сопровождалось перераспределением активации, увеличением тета-диапазона во фронтальных областях, меньшей десинхронизацией альфа-диапазона. Это могло отражать доминирование лобно-теменной сети рабочей памяти и произвольного внимания, а также вовлечением нисходящего тормозного контроля со стороны фронтальных структур для фокусирования внимания на задаче [2].

На основании проведенного исследования можно предположить, что в основе решения разных примеров с дробями лежат сходные механизмы, связанные с вовлечением лобно-центральных (дельта- и тета-активация) и теменных областей (противофаза альфа и бета-активации). Общим является вовлечение лобно-теменной сети ментальной арифметики параллельно с активацией рабочей памяти, а также реципрокные взаимодействия сетей спокойного и активного бодрствования, выступающие как предиктор уровня активации систем памяти.

Источники и литература

- 1) Ischebeck A., Schocke M., Delazer M. The processing and representation of fractions within the brain: an fMRI investigation // *Neuroimage*. 2009. №47. pp. 403–413.
- 2) Klimesch W. Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information // *Trends Cogn Sci*. 2012. №16(12). pp. 606-17.
- 3) Panda R., Bharath R.D., George L., Kanungo S., Reddy R.P., Upadhyay N., Thamodharan A., Rajeshwaran J., Rao S.L., Gupta A.K. Unraveling Brain Functional

Connectivity of encoding and retrieval in the context of education // Brain Cogn. 2014.
№86. pp. 75-81.