

**ОТРАЖЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ АРИФМЕТИЧЕСКИХ НАВЫКОВ  
РАЗНОГО УРОВНЯ СЛОЖНОСТИ В ДИНАМИКЕ ОБЩЕЙ  
АКТИВАЦИИ МОЗГОВЫХ СТРУКТУР**

**Богун А.С.**

*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону*

В наших предыдущих работах показано, что выполнение сложной арифметической деятельности представляет собой неоднородный процесс, включающий ряд промежуточных операций (чтение условия задания, выполнение подготовительных расчетов, удержание в кратковременной памяти результатов промежуточных операций и т.д.) (Айдаркин с соавт., 2006; Щербина, Богун, 2007). При этом навык распознавания и дифференцировки числа является автоматизированной операцией, лежащей в основе любого арифметического действия (Свидерская, Королькова, 1992; Dehaene et.al., 2003).

Целью исследования было изучение характеристик общей активации мозговых структур (по данным ЭЭГ) в условиях выполнения арифметических операций разного уровня сложности. Для решения поставленной задачи были реализованы 2 серии экспериментов. В рамках первой серии обследуемые решали простые семантические задачи, представляющие собой СЗМР при дифференцировке цифр в условиях 2, 6 и 10 альтернатив, а также в задаче на сравнение чисел. Вторая методика заключалась в выполнении сложной интеллектуальной деятельности, моделью которой выступало решение арифметических примеров на умножение двузначных чисел. Решение примеров происходило на фоне добавочной деятельности (простая аудиомоторная реакция) в рамках оригинальной методики контроля когнитивного напряжения (Айдаркин с соавт., 2006). Контингент обследованных для двух методик совпадал. Было обследовано 20 человек, средний возраст  $24 \pm 0.5$  лет, парциальные правши. Перед обследованием участников информировали о порядке проведения тестовых процедур. Стимулы и примеры появлялись на сером фоне в центре экрана компьютера, находящемся на расстоянии 60 см на уровне глаз испытуемого. В ходе обследования регистрировался комплекс электрофизиологических показателей с помощью компьютерного электроэнцефалографа-анализатора «Энцефалан-131-03» (НПКФ «Медиком-МТД», г. Таганрог) монополярно по системе 10-20 в 19 стандартных отведениях с шагом дискретизации 4 мс и частотной полосой пропускания 0,5-70 Гц. Оцифрованная ЭЭГ экспортировалась в программную среду «Matlab», где рассчитывалась спектральная мощность основных ритмических диапазонов ЭЭГ: дельта (1-3.5 Гц), тета (4-8 Гц), альфа (8-13 Гц), бета (13-40 Гц). Перед усреднением ЭЭГ фильтровалась в диапазоне 0.5-24 Гц. В качестве фонового состояния для данного показателя использовалось состояние спокойного бодрствования с открытыми глазами.

Анализ спектральных характеристик ЭЭГ при выполнении СЗМР на простые числовые стимулы показал доминирование в передних областях частот тета- и

дельта-ритмов, и наличие мощного фокуса альфа-ритма в теменно-затылочных областях для всех задач. Асимметрии активации для этих видов активности показано не было. Для всех задач показано усиление выраженности альфа-частот в сравнении с фоном. Специфика задач и числа альтернатив находили отражение в выраженности дельта-и тета-фокусов, а также их расположения. Различия в целом носили характер увеличения общего уровня активированности мозговых структур.

Выполнение сложной арифметической деятельности, как и в случае с простыми числами, сопровождалось возрастанием значений спектральных характеристик ритмических диапазонов ЭЭГ и перестройками паттернов активности по мере увеличения интенсивности интеллектуальной деятельности (оцениваемой по параметрам добавочной задачи (Айдаркин с соавт., 2006)). Основные изменения были связаны с дельта- и тета-частотными диапазонами, где наблюдалось возрастание спектральной мощности с формированием четких фокусов в лобных областях и распространением активности в центральные и теменные отведения. Максимальный уровень интеллектуальной нагрузки, связанный с осуществлением основных арифметических преобразований, сопровождался формированием в передних областях мощного фокуса дельта и тета-ритмов, имеющих левостороннюю асимметрию. Теменно-затылочный фокус альфа-ритма также несколько расширился с сохранением лобно-затылочный градиента колебаний. Напряженная мыслительная деятельность при высоком уровне интеллектуального напряжения также сопровождалась некоторым усилением бета-активности в лобных отведениях.

Таким образом, общий характер изменений спектральных характеристик ЭЭГ при выполнении арифметических задач разной сложности позволяет сделать вывод о едином характере процессов, лежащих в основе данного интеллектуального навыка. Неспецифичность картины ЭЭГ-активации при реализации простого семантического навыка определялось исходной несложностью деятельности, что находило отражение в отсутствии реакции десинхронизации альфа-ритма, а также быстрой остановкой процесса преобразования арифметических стимулов в условиях СЗМР (Iguchi, Hashimoto, 2000). Сходство картины активации с таковой для сложной задачи позволяет предполагать вовлечение в их реализацию одних и тех же когнитивных процессов; с этой позиции становится понятной единая динамика ЭЭГ-активности при выполнении задач в обеих сериях обследований

Генерализованное повышение активированности при выполнении сложной деятельности может являться отражением в ЭЭГ процессов произвольного внимания (Шарова с соавт, 2009), механизмов регуляции уровня бодрствования и произвольного внимания (Posner, Peterson, 1990; Мачинская, 2003). Увеличение мощности дельта и тета-диапазонов в области зоны Брока и левой височно-теменной зоны для обоих типов задач связывается с принятием решения, опосредованного внутренней речью (Щебланова, 1977; Domahs et.al., 2006; Лурия, 2002; Хомская, 2005). Активация лобных областей также связывается с необходимостью осуществления процессов рабочей памяти, являющихся ключевыми психофизиологическими процессами при выполнении любой арифметической деятельности (Zago et.al., 2008). Достоверное увеличение мощностей в тета-полосе со смещением активации в левое полушарие также свидетельствует об использовании стратегии поиска арифметических данных (DeSmedt, Grabner, Studer, 2009), что было менее выражено при выполнении простой деятельности и связано с меньшей

загрузкой оперативной памяти. Можно предполагать наличие в тета-диапазоне показанной для интеллектуальной деятельности узкополосной экзальтации, связанной с активностью гиппокампа и отражающей кодирование сенсорной информации в памяти за счет таламо- и гиппокампально-кортикальных объединений (Klimeshetal., 1996). Рост тета-ритма в правой дорсолатеральной префронтальной коре связывается с устойчивостью внимания (Harmonyet.al., 1999). Отсутствие десинхронизации (для простой задачи) и некоторое возрастание (для сложной задачи) значений спектральной мощности альфа-ритма может быть связано с процессами избирательной модуляции корковой активности (LopesdaSilva, 1991, Llinasetal., 1998). Поскольку в качестве анатомической структуры, обеспечивающей зрительное восприятие цифр и примеров, предполагаются затылочно-височные пути (Варга с соавт., 2008; Dehaene et al., 2003), можно предполагать отражение в синхронизации альфа-частот активации вентральной системы анализа зрительной информации. Наблюдаемый при выполнении сложной задачи сдвиг асимметрии в сторону доминирования правого полушария объясняется спецификой устного счета, вызывающего сдвиг асимметрии в пользу активации левой гемисферы (Князева, 1991; Иваницкая, Богун, 2007). Усиление бета-частот при выполнении сложной задачи (и отсутствие такового для простой) носило характер общего повышения уровня активации под влиянием стволовой ретикулярной формации (Макарченко с соавт., 1980; Баклаваджян с соавт., 1982) на внутрикорковые генераторы данного ритма (Жирмунская, 1991) и связывается с семантическим анализом (Klimesch, 1997) и процессами внимания (Beklisz, Wrobel, 1999).