

ОТРАЖЕНИЕ В ПАРАМЕТРАХ ЭЭГ БЛИЗНЕЦОВ ВЫПОЛНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ И ВЕРБАЛЬНО-АССОЦИАТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**Воробьева Е.В.,
Попова В.А.**

В статье рассматриваются результаты исследования, посвященного изучению отражения в параметрах электроэнцефалограммы близнецов в возрасте 16-20 лет вербально-ассоциативной деятельности, а также решения арифметических задач. Получены данные о значимых изменениях мощности основных ритмических составляющих ЭЭГ при соответствующих нагрузках.

Ключевые слова: электроэнцефалограмма, вербально-ассоциативная деятельность, выполнение арифметических операций.

В настоящее время накоплено достаточно много сведений о функциональном значении различных структур мозга, в том числе разных отделов коры, в организации мыслительной деятельности. Функциональные карты коры мозга, полученные в последнее время с помощью метода ядерно-магнитной томографии, включают фронтальную, темпоральную и париетальную области коры с явно выраженным левополушарным доминированием [1, 8, 10].

В целом исследователи отмечают, что при вербальном мышлении оказываются задействованы оба полушария. Например, было показано, что первичный анализ словесной категории выполняет левое полушарие, а постлексический процесс осуществляется в правом полушарии. Кроме того, правое полушарие играет центральную роль на начальных этапах развития вербальных функций, а затем выполняет ряд дополнительных фонетических, лексических и других языковых операций. К функциям правого полушария относят понимание основного смысла суждения или метафор, лексически несвязанных категорий, а также интеграцию новой информации в заданное суждение. Причем переработка семантической информации идет в правом полушарии более медленно, чем в левом [4, 6, 11].

А.Н. Шеповальников, М.Н. Цицерошин отмечают, что вербально-мнестическая деятельность сопровождается специфическими по отношению к виду выполняемых речевых заданий изменениями межрегиональных связей биопотенциалов с обязательным участием различных отделов коры обоих полушарий мозга. Пространственная структура межполушарных взаимодействий и локализация вовлекаемых в речемыслительную деятельность отделов коры левого и правого полушарий проявляет существенные различия в зависимости от специфики речевой деятельности [12].

В экспериментах по изучению отражения вербальной деятельности в ЭЭГ было выяснено следующее: при воспроизведении конкретных слов увеличивается синхронизация колебаний биопотенциалов между передней и задней частями коры для всех частотных диапазонов за исключением альфа-частот, причем лучшим показателем воспроизведения соответствует нарастание когерентности между более дистантно расположенными областями коры; изменения в левом полушарии были представлены в большей степени, чем в правом, что можно объяснить вербальной природой задания. Для более эффективного воспроизведения как конкретных, так и абстрактных слов было характерно увеличение синхронизации тета-ритма между передней и задней частями коры [7, 9].

Г.А. Иваницкий, А.Р. Николаев и А.М. Иваницкий отмечают участие фронтальных и темпоропариетальных областей в выполнении вербальных задач, причем предполагается, что фронтальная кора обуславливает внимание к входящей информации, а также к входным словам в процессах их генерации, а левая темпоропариетальная зона может быть вовлечена в сложные семантические процессы, в том числе понимание утверждений [3].

Вопросами отражения вербальной деятельности в параметрах ЭЭГ у мужчин и женщин занималась О.М. Разумникова. Согласно полученным в результате анализа данным, О.М. Разумникова отмечает, что в ситуации генерации слов на заданную букву у мужчин отмечено увеличение мощности биопотенциалов тета1-диапазона при широко представленном усилении когерентности этого ритма, что можно рассматривать как ЭЭГ – коррелят адекватной концентрации внимания, требуемой ментальной нагрузкой. Выполнение вербального задания связано у мужчин с более генерализованным повышением мощности биопотенциалов этого диапазона [9].

Эти данные согласуются с ранее полученными фактами о том, что успешная вербальная деятельность осуществляется у женщин при менее выраженной активации коры, тогда как у мужчин – при ее большей активации [2].

Таким образом, сопоставление эффективности вербальной деятельности в разных экспериментальных условиях с динамикой отражения в параметрах ЭЭГ выполнения этих заданий при их сравнительном анализе позволяет заключить, что даже наблюдаемое при выполнении креативного вербального задания сходство паттернов когерентности бета-ритма у мужчин и женщин может являться результатом разных селективных процессов в мозге.

Что касается связи мощности альфа-ритма и уровня интеллектуальных способностей, то данные по этому вопросу достаточно противоречивы, и даже одни и те же исследователи получают разные результаты. Анализ корреляций между разными субтестами IQ и мощностью альфа-ритма в 3-х поддиапазонах, проведенный О.М. Разумниковой показал, что «верхний» альфа-диапазон в большей степени отражает способности оперирования семантической информацией, тогда как два «нижних» – связаны с процессами внимания [7, 9].

В целом, можно говорить о том, что при вербальном мышлении задействованы оба полушария, причем исследователи указывают на взаимодействие темпоральных и окципитальных областей коры, которые непосредственно связаны с речевой активностью и вербальной памятью. Что же касается отражения вербального мышления в показателях ЭЭГ, то в результате исследований было выяснено, что при повышении вербального интеллекта повышается когерентность тета-1 и тета-2 ритмов. Также исследователи отмечают половые различия при осуществлении вербальной деятельности.

В последние годы с помощью электроэнцефалографических и томографических методов было проведено большое количество исследований функциональной активности мозга при выполнении разных математических задач. Однако эти исследования проводились в основном зарубежными авторами и лишь единичные исследования можно встретить в отечественной психологии (Разумникова О.М., 2004). Оказалось, что вычислительные операции требуют интеграции многих широко распространенных областей коры, так как необходимым условием для этого вида деятельности является удержание внимания на определенной последовательности действий, извлечение информации из рабочей памяти и промежуточное сохранение в ней текущих результатов, вербализация и зрительное представление числовых символов и т.п. [7].

Анализ динамики ЭЭГ в ходе выполнения арифметических вычислений показал либо левостороннюю

активацию темпорально-центрально-париетальной коры (Inoue et al., 1993), либо билатеральную активацию височных областей и взаимодействие правой фронтальной коры и темпорально-центрально-париетальных областей (Meyer-Lindenberg et al., 1998) [19]. Другие исследования паттернов реактивности ЭЭГ при выполнении математических действий выявили значимость тета- и дельта-ритмов в правой posterior области и бета-ритма – во фронтальных областях (Fernandez et al., 1995) [17].

В результате томографических исследований арифметических действий Рикарда были выделены специфические области активации коры: билатеральная активация в 44 зоне Бродмана, в дорзолатеральной префронтальной коре (поле 9, 10), в нижней и верхней париетальных областях, в языковой и веретеновидной извилинах, причем в 44 зоне Бродмана и париетальной коре левосторонняя активация была выражена сильнее (Rickard et al., 2000) [21]. Еще одно исследование функциональной организации мозга, необходимой для выполнения арифметических операций, выявило активацию, как париетальной коры, так и нижней, и средней фронтальной извилин, правого полушария в средней части мозжечка, правой премоторной коры и левого хвостатого ядра (Menon et al., 2000) [20].

Функциональная значимость различных частотных генераторов и их пространственное расположение для разных компонентов вычислительного процесса были рассмотрены с помощью специального статистического анализа ЭЭГ (Bosch et al., 1999; Harmony et al., 1999). Колебания частотой 3,9 Гц отмечены в левой парието-темпоральной области коры, что можно трактовать как связь с процессами внутренней речи, ритм тета-диапазона 5,46 Гц, локализованный в правой фронтальной коре – с усилением внимания в ходе вычислительного задания, а колебания частотой 12,48 Гц в левой париетальной коре – с воспроизведением из долговременной памяти вербализованных арифметических процедур. Усиление ритма 3,12 Гц также в левой париетальной коре можно отнести к развитию тормозных процессов, необходимых для торможения предыдущей числовой информации и фокусировании внимания на выполнении текущей арифметической операции [13, 18].

Картирование активности мозга с помощью ПЭТ при различных вычислительных операциях показало, что при выполнении операции умножения чисел обнаружена билатеральная активация нижних париетальных областей, а также левых веретенообразной, языковой областей и чечевицеобразного ядра. Предполагается, что активация последних обусловлена использованием вербальных операций, а к функциям нижних париетальных областей относят представления чисел как абстрактного внутреннего

количества или кода величины. В то же время при операциях сравнения чисел и их зрительном представлении билатерально включаются окципитальная кора и прецентральная извилина. Кроме того, было установлено, что в математических заданиях, требующих точного ответа, наблюдалась активация левой нижней фронтальной коры, а в заданиях с аппроксимацией данных – билатеральная внутривариетальная активация (Dahaene et al., 1999) [16].

Магнитно-резонансные исследования задач мысленного вычитания обнаружило билатеральную (с тенденцией к левостороннему доминированию) активацию в париетальной, префронтальной и пре-моторной коре (Burbaud et al., 1995; Rueckert et al., 1996). В целом, можно выделить две стратегии выполнения вычислительных операций: лингвистическое или зрительно-пространственное кодирование числового стимула. В случае применения вербальной стратегии (по результатам МРТ) активация локализована в левой дорзолатеральной фронтальной коре и в меньшей степени – в нижней париетальной коре. При использовании зрительной стратегии наблюдается билатеральная активация префронтальной коры и сильная степень активации левой нижней париетальной коры. Предполагается, что такое функциональное взаимодействие корковых зон обеспечивает генерацию числовых образов в левой нижней париетальной коре и поддерживающее их селективное внимание – в правой фронтальной коре (Burbaud et al., 2000) [14].

Вариабильность кортикальной активации может быть обусловлена не только самим типом задачи, но и разнообразием индивидуальных стратегий деятельности, в формировании которых существенная роль принадлежит фактору пола. Таким образом, взаимодействие полушарий, необходимое для выполнения математических операций, осуществляется в широком диапазоне частот, и особенности этой функциональной частотно-пространственной организации корковых областей определяются целым рядом факторов, в том числе сложностью решаемой задачи и индивидуальными стратегиями ее выполнения. В зависимости от того, какая стратегия используется: вербальная или зрительно-пространственная – в ментальные процессы включаются те области коры, которые обеспечивают эти функции.

Цель исследования: экспериментальное изучение отражения в параметрах электроэнцефалограммы близнецов выполнения математических операций и вербально-ассоциативной деятельности.

Объект: монозиготные и дизиготные близнецы в возрасте от 16 до 20 лет. Общее количество близнецовых пар – 32, из них мужского пола – 12 человек, женского – 20 человек. Все испытуемые без отклонений в состоянии здоровья, участвовали в исследовании добровольно.

Исследование проводилось в 2007-2008 году на базе лаборатории психофизиологии и экспериментальной психологии факультета психологии Южного федерального университета. В данной статье психогенетические результаты не представлены.

Задачи:

1) выявить специфические зоны мозговой активации, присущие процессу арифметического счета на основании сравнительного анализа показателей мощностей в различных диапазонах при сравнении функциональной пробы с фоном;

2) выявить специфические зоны мозговой активации, присущие вербально-ассоциативной деятельности с помощью сравнительного анализа показателей мощностей в различных диапазонах при сравнении функциональной пробы с фоном.

Описание процедуры и методов исследования.

Для записи ЭЭГ использовался сертифицированный электроэнцефалограф «Энцефалан», версия «Элитная-М» 5.4-10-2.0 (13.02.2004) производства МТБ «Медиком» г. Таганрог. Регистрация осуществлялась в изолированной комнате. Запись ЭЭГ проводилась по международному стандарту установки электродов по схеме 10%-20 %. Для регистрации электрической активности мозга устанавливался 21 электрод (Fp, Fz, Cz, Pz, Oz, Fp1, Fp2, F7, F3, F4, F8, T3, C3, C4, T4, T5, P3, P4, T6, O1, O2), применялась монополярная схема с ипсилатеральными ушными референтами. Также использовались полиграфические каналы (ЭОГ, ЭМГ, ЭКГ, КГР) с целью подавления артефактов. Анализировалась фоновая ЭЭГ, а также регистрируемая в экспериментальных пробах.

Последовательность функциональных проб при записи ЭЭГ: «фон», «открыть глаза» (ОГ), «закрыть глаза» (ЗГ), проба «счет в уме» (последовательное прибавление цифры 7), проба «вербальные ассоциации» (придумывание слов на букву «а»).

Для отслеживания и подавления артефактов использовались регистрация электромиограммы (ЭМГ), электроокулограммы (ЭОГ), электрокардиограммы (ЭКГ), кожно-гальванической реакции (КГР) и фотоплетизмограммы (ФПГ).

Метод эксперимента использовался в процессе записи электроэнцефалограммы. В начале каждого опыта 1 минуту регистрировали ЭЭГ, когда испытуемый пребывал в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами при отсутствии звуковых и зрительных стимулов. Эти данные рассматривались как фоновые.

В следующей части опыта испытуемому предлагалось в уме складывать «семерки» в течение одной минуты. При этом испытуемому предлагалась следующая инструкция: «Сейчас постарайтесь в уме складывать семерки, а по прошествии минуты я попрошу вас сказать получившуюся сумму».

Непосредственно перед записью ЭЭГ испытуемым предлагалось в течение минуты придумывать и записывать на листе бумаги любые ассоциации на заданную букву «А». Затем, в процессе записи электрической активности в пробе «вербальные ассоциации» им предлагалось в течение минуты вновь придумывать ассоциации на эту букву, избегая ранее использованные.

Математическая обработка данных осуществлялась с помощью методов математической статистики: Т-критерий Стьюдента и корреляционного анализа по Spearman. Компьютерная обработка результатов проводилась по программам Statistica 6.0. и NCSS 2000 – PASS 2000.

Анализ спектра мощности осуществлялся путем сравнения показателей фоновой пробы с функциональной в тех же частотных диапазонах (тета (4-8 Гц), альфа (8-13 Гц), бета-1 (13-24 Гц), бета-2 (24-35 Гц), дельта (0,5-4 Гц)) и отведениях.

Обработка данных проводилась с помощью методов математической статистики, а именно Т-критерия Стьюдента. При этом значимыми считались результаты, когда $p < 0,05$ (где p – уровень значимости).

Компьютерная обработка результатов проводилась по программам Statistica 6.0. и NCSS 2000 – PASS 2000.

Результаты ЭЭГ исследования. Анализ спектра мощностей (АЗМ).

Анализ спектра мощности осуществлялся путем сравнения показателей фоновой пробы с функциональной в тех же частотных диапазонах и отведениях. Оценка значимости изменений мощностных характеристик проводилась с помощью t-критерия Стьюдента.

В результате анализа абсолютных значений мощности (АЗМ) функциональной пробы «арифметический счет» по сравнению с фоновой пробой были получены следующие результаты (см. рис. 1): в диапазоне дельта 1 обнаружено единичное повышение мощности в отведении О1 (АЗМ = 0,04*, $p < 0,05$); в диапазоне дельта 2 зарегистрировано повышение мощности в левом окципитальном отведении О1 (АЗМ = 0,02*, $p < 0,05$), а также левом передне-лобном отведении Fp1 (АЗМ = 0,05*, $p < 0,05$). Характеризуя изменения мощности тета-ритма следует сказать, что отмечается существенное повышение мощности преимущественно в левом полушарии в левых темпоральных отведениях (Т3, Т5) (АЗМ = 0,02*, $p < 0,05$) (АЗМ = 0,01*, $p < 0,05$), парietальных (P3, Pz) (АЗМ = 0,004*, $p < 0,05$) (АЗМ = 0,005*, $p < 0,05$), а также в отведениях Fp1, C3, О1 (АЗМ = 0,04*, $p < 0,05$) (АЗМ = 0,01*, $p < 0,05$) (АЗМ = 0,005*, $p < 0,05$). Рассматривая изменения мощностных характеристик альфа-диапазона, можно отметить билатеральную включенность в процесс арифметического счета центральных (С3, С4, Сz) (АЗМ = 0,02*, $p < 0,05$)

(АЗМ = 0,03*, $p < 0,05$) (АЗМ = 0,05*, $p < 0,05$), темпоральных (Т3, Т4, Т5) (АЗМ = 0,02*, $p < 0,05$) (АЗМ = 0,02*, $p < 0,05$) (АЗМ = 0,002*, $p < 0,05$), парietальных (P3, P4, Pz) (АЗМ = 0,0007*, $p < 0,05$) (АЗМ = 0,009*, $p < 0,05$) (АЗМ = 0,01*, $p < 0,05$) и латерально-фронтальных (F8, F7) (АЗМ = 0,03*, $p < 0,05$) (АЗМ = 0,04*, $p < 0,05$) отделов коры, а также левостороннюю включенность окципитальных областей (О1, Oz) (АЗМ = 0,04*, $p < 0,05$) (АЗМ = 0,05*, $p < 0,05$); что касается бета1-ритма, то значимое изменение мощности имеет место в центральных отведениях (С3, Сz, С4) (АЗМ = 0,02*, $p < 0,05$) (АЗМ = 0,04*, $p < 0,05$) (АЗМ = 0,02*, $p < 0,05$) и левом парietальном отведении – P3 (АЗМ = 0,03*, $p < 0,05$).

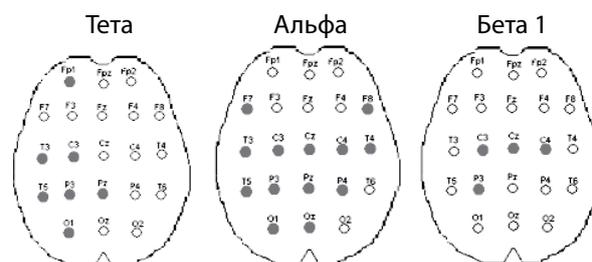


Рисунок 1. Схема повышения мощности ритмов ЭЭГ при арифметическом счете

В результате анализа АЗМ функциональной пробы «вербальные ассоциации» были получены следующие результаты: в диапазоне тета зарегистрировано повышение мощности в лобных отведениях F4, F3, Fz (АЗМ = 0,03*, $p < 0,05$) (АЗМ = 0,01*, $p < 0,05$) (АЗМ = 0,006*, $p < 0,05$), в диапазоне альфа обнаружено единичное повышение мощности в левом височном отведении Т3 (АЗМ = 0,05*, $p < 0,05$). Отобразим полученные нами повышения мощности ритмов ЭЭГ графически (см. рис. 2).

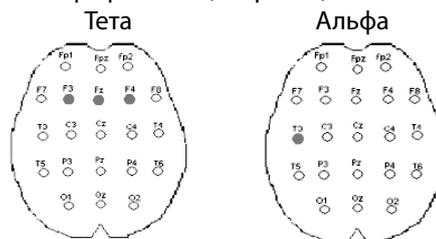


Рисунок 2. Схема повышения мощности ритмов ЭЭГ в процессе вербально-ассоциативной деятельности

На рисунке 2 видно, что в процессе придумывания вербальных ассоциаций происходят значимые изменения мощности: альфа-ритма в левой темпоральной и тета - ритма во фронтальной областях коры.

Интерпретация полученных данных.

Относительно отражения в параметрах ЭЭГ арифметического счета можно сказать, что полученные в работе данные соответствуют результатам

исследований, касающихся изучения мозговой организации арифметических операций (Inouye et al., 1993; Meyer-Lindenberg et al., 1998; Fernandez et al., 1995; Cochon et al., 1999; Dahaene et al., 1999; Burbaud et al., 2000) [16, 17, 19]. Интерпретируя полученные нами результаты можно сказать, что картина повышения мощности тета-ритма, имеющая место при арифметической операции сложения, может свидетельствовать об эмоционально-мотивационном возбуждении испытуемых в процессе выполняемой деятельности. Кроме того, включенность темпоральных, париетальных и окципитального отделов может быть связана с эффектом поддержания высокой активности мозга для успешной когнитивной деятельности у сильно мотивированных испытуемых. На основании наблюдения за поведением близнецов в экспериментальной ситуации мы можем говорить о явно выраженной внутриварной конкуренции со стремлением превзойти своего сиблинга по результатам счета семерок (суммы). Таким образом, мы можем утверждать наличие высокой мотивации у близнецов при выполнении задания.

Кроме того, появление тета-диапазона в левой париетальной коре является, по-видимому, следствием развития тормозных процессов, необходимых для торможения предыдущей числовой информации и фокусировании внимания на выполнении текущей арифметической операции.

Анализируя результаты повышения мощности альфа-ритма, можно предположить, что испытуемые использовали преимущественно зрительно-пространственную стратегию кодирования числового стимула, о чем свидетельствует включенность окципитальной и париетальной коры. Кроме того, генерация числовых образов некоторыми авторами приписывается именно левой париетальной коре, также к функциям нижних париетальных областей относят представления чисел как абстрактного внутреннего количества или кода величины. Возвращаясь к интерпретации изменений мощности альфа-ритма, полученных в наших исследованиях, необходимо отметить значимость этого диапазона для повышения функционального состояния, которое наблюдалось при выполнении арифметического счета.

Бета активность функционально связывают с реализацией состояния бдительности, также его считают «носителем» внимания.

Таким образом, имеющиеся на сегодняшний день данные позволяют сделать вывод относительно функционального значения наиболее выраженных по мощности ритмов (тета, альфа и бета1) в нашем исследовании: все они имеют отношения к процессам внимания (так, необходимо было удерживать внимание на процессе счета, так как операции

производились в уме), памяти (требовалось запоминать промежуточные результаты сложения) и вербальным, образным и другим компонентам мышления. Также можно добавить значение тета-ритма для организации эмоциональной регуляции; альфа – для неспецифических активационных и тормозных процессов, связанных с выполнением разного рода когнитивной деятельности, а также для способа обработки информации; бета – для особых форм внимания и высших когнитивных функций.

Относительно отражения в параметрах ЭЭГ вербально-ассоциативной деятельности необходимо отметить, что анализ мощностей ЭЭГ ритмов, проведенный по Т-критерию Стьюдента показал, что в процессе придумывания вербальных ассоциаций происходят значимые изменения мощности альфа-ритма в темпоральных и тета-ритма во фронтальных областях коры.

Фронтальные или лобные области коры исследователи связывают с принятием решений, процессами анализа, с центром мотивированного поведения [3, 5, 7]. Повышение мощности тета-ритма во фронтальных областях коры в процессе придумывания испытуемыми вербальных ассоциаций можно расценивать как появление ассоциаций, имевших эмоциональную окраску для испытуемых.

Левая височная область является центром речи [3, 5]. Повышение мощности альфа-ритма в этой области (Т3) свидетельствует о том, что в процессе придумывания вербальных ассоциаций на фоне альфа-ритма были задействованы речевые центры.

Выводы.

1. Проведенный анализ мощностных характеристик ритмов ЭЭГ в процессе арифметического счета у близнецов позволил выявить значимые изменения мощности тета-ритма, преимущественно в левом полушарии в темпоральных отведениях, париетальных отделах коры; что касается альфа-диапазона, то изменения мощностных характеристик происходят билатерально с включенностью центральных, темпоральных, париетальных и латерально-фронтальных отделов коры, а также левостороннюю активацию окципитальных областей; рассматривая изменения бета1-ритма, обнаружено значимое увеличение мощности в центральных отведениях билатерально.

2. В процессе вербального мышления повышается мощность альфа- и тета-ритмов в темпоральных и фронтальных областях коры соответственно также нашла подтверждение. Таким образом, можно утверждать, что повышение мощности тета-ритма во фронтальных областях коры в процессе придумывания испытуемыми вербальных ассоциаций связано с появлением эмоционально окрашенных для испытуемых ассоциаций. Повышение мощности

альфа-ритма в темпоральной области (ТЗ) может свидетельствовать о том, что в процессе придумывания вербальных ассоциаций на фоне альфа-ритма были задействованы речевые центры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болдырева Г.Н., Шарова Е.В., Добронравова И.С. Роль мозговых регуляторных структур в формировании ЭЭГ человека // Физиология человека. – 2000. – Т. 26. – № 5. – С. 19-20.
2. Вольф Н.В., Разумникова О.М. Динамика межполушарной асимметрии при восприятии речевой информации у женщин и мужчин. ЭЭГ анализ // Журнал высшей нервной деятельности. – 2002. – Т. 51. – № 3. – С. 310-314.
3. Иваницкий Г.А., Николаев А.Р., Иваницкий А.М. Взаимодействие лобной и левой теменно-височной коры при вербальном мышлении // Физиология человека. – 2002. – № 1. – С. 5-11.
4. Кабардов М.К., Матова М.А. Межполушарная асимметрия и вербальные и невербальные компоненты познавательных способностей // Вопросы психологии. – 1988. – № 6. – С. 106-115.
5. Кирой В.Н. Электроэнцефалография. – Ростов-на-Дону, 1998. – 239 с.
6. Новак З. Вопросы изучения и диагностики развития вербальной способности учащихся // Вопросы психологии. – 1983. – № 1. – С. 46-50.
7. Разумникова О.М. Мышление и функциональная асимметрия мозга. – Новосибирск, 2004. – 272 с.
8. Разумникова О.М. Отражение структуры интеллекта в пространственно-временных особенностях фоновой ЭЭГ // Физиология человека. – 2002. – Т. 28. – № 2. – С. 31-35.
9. Разумникова О.М. Функциональное значение биопотенциалов α 2-диапазона при конвергентном и дивергентном вербальном мышлении // Физиология человека. – 2007. – Т. 33. – № 2. – С. 23-34.
10. Свидерская Н.Е., Антонов А.Г., Бутнева Л.С. Сравнительный анализ пространственной организации ЭЭГ на моделях дивергентного и конвергентного невербального мышления // Журнал высшей нервной деятельности. – 2007. – № 2. – С. 144-154.
11. Чораян О.Г., Кураев Г.А., Чораян И.О. Некоторые динамические и вариационные характеристики вербальной деятельности (на модели установления синонимических отношений) у лиц с разным уровнем IQ // Вопросы психологии. – 2003. – № 2. – С. 16-22.
12. Шеповальников А.Н., Цицерошин М.Н. Анализ пространственно-временной организации ЭЭГ – путь к познанию нейрофизиологических механизмов интегративной деятельности мозга // Журнал высшей нервной деятельности. – 2007. – № 6. – С. 663-672.
13. Bosch V., Mecklinger A., Friederici A.D. (2001) Slow cortical potentials during retention of object, spatial and verbal information. *Brain Res Cogn Brain Res* 10:219-237.
14. Burbaud P., Camus O., Guehl D., Bioulac B., Caille J., Allard M. Influence of cognitive strategies on the pattern of cortical activation during mental subtraction. A functional imaging study in human subjects. – *Neurosci. Lett.* – 287, 2000. – P. 76-80.
15. Cohen L., Dahan S. Towards an anatomical and functional model of number processing. – *Math. Cognit.* 1 (1995). – P. 83-120.
16. Dahan S., E. Spelke, P. Pinel, R Stanescu and S. Tsivkin, Sources of mathematical thinking: behavioral and brain-imaging evidence. – *Science* 284 (1999). – P. 970-974.
17. Fernandez T., Harmony T., Rodriguer M. et al. EEG activation patterns during the performance of tasks in different components of mental calculation // *EEG and Clin. Neurophysiol.* – 1995. – V. 93(3). – P. 175-181.
18. Harmony T, Fernandez T, Rodriguez M et al.: Test-retest reliability of EEG spectral parameters during cognitive tasks: II. Coherence. *Int J Neurosci.* 68(3-4):263-271, 1993.
19. Inouye T., Toi S., Matsumoto Y., 1995. A new segmentation method of electroencephalograms by use of Akaike's information criterion. *Brain. Res. Cogn. Brain. Res.* 3, 33-40.
20. Menon V, Rivera SM, White CD, Glover GH, Reiss AL (2000) Dissociating prefrontal and parietal cortex activation during arithmetic processing. *Neuroimage*;12:357-365.
21. Rickard TC, Romero SG, Basso G, Wharton C, Flitman S, Grafman J (2000) The calculating brain: an fMRI study. *Neuropsychologia*; 38:325-335.