

СТАНКОВА

Екатерина Петровна

**ОТРАЖЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ В УСПЕШНОСТИ
КОГНИТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

03.03.01 – физиология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

Научный руководитель – доктор биологических наук, профессор **Мышкин Иван Юрьевич**

Официальные оппоненты:

Шелепин Юрий Евгеньевич – доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физиологии им. И.П. Павлова» РАН, лаборатория физиологии зрения, заведующий

Белов Дмитрий Романович – доктор биологических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», кафедра высшей нервной деятельности и психофизиологии, доцент

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»

Защита состоится « » _____ 2018 г. в ____ часов на заседании диссертационного совета Д001.022.03 на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Институт экспериментальной медицины» (197376, Санкт-Петербург, ул. акад. Павлова, д. 12) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, Каменноостровский пр., д. 69/71

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Институт экспериментальной медицины» по адресу 1973764, Санкт-Петербург, ул. академика Павлова, д.12 и на сайте <http://iemsfb.ru/soiskatel-kand03>

Автореферат разослан « » _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор биологических наук

Хныченко Людмила Константиновна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Успешность осуществления того или иного вида психической деятельности во многом определяется уровнем развития способностей индивида. Способности, в свою очередь, развиваются из задатков – генетически обусловленных анатомо-физиологических особенностей центральной нервной системы. Поэтому изучение физиологических основ психической деятельности человека является одной из закономерных и важнейших проблем когнитивной нейробиологии. Исследования, проведённые в последние два десятилетия с использованием методов нейровизуализации, свидетельствуют в пользу того, что состояние спокойного бодрствования не является пассивным, в это время, наблюдается активация большого количества церебральных структур. Все больше исследователей начинают склоняться к тому, что фоновая активность головного мозга должна находить отражения в эффективности психической деятельности (Sadaghiani, 2010; Papp, 2013). В то время как методы нейровизуализации по большей части дают информацию об активации тех или иных структур головного мозга, для изучения их функционального взаимодействия по-прежнему широко применяется метод электроэнцефалографии (ЭЭГ). Именно взаимодействие корковых и подкорковых структур лежит в основе формирования структурно-функциональных систем со звеньями различной степени жесткости, которые обеспечивают психические процессы (Бехтерева, 1971). Кроме того, метод ЭЭГ обладает высоким временным разрешением, что позволяет использовать его для оценки динамики электрической активности мозга. Поэтому изучение взаимосвязи пространственно-временной организации фоновой биоэлектрической активности мозга с успешностью когнитивной деятельности является актуальной задачей, которая может быть решена с использованием метода электроэнцефалографии.

Степень разработанности темы исследования. В самом конце двадцатого века был проведен ряд выдающихся исследований, которые привели к открытию Маркусом Райхлом (Raichle, 2001) сети пассивного режима работы мозга (default mode network). Изначально функционирование

этой системы связывали с обеспечением внутренних репрезентативных процессов, однако в последнее время появляются данные о ее участии в процессах восприятия и обеспечении внимания (Raichle, 2015). Анализ результатов нейрофизиологических исследований показал, что помимо сети пассивного режима работы мозга, существуют другие «сети покоя» (intrinsic connectivity network), модуляция активности которых связана с обеспечением когнитивных процессов (Parlar, 2017; Пирадов, 2016; Parlar, 2013; Sadaghiani, 2012 и др.). Сведения о координации деятельности «сетей покоя» дают основания по-новому оценивать информативность значение фоновой активности для оптимизации деятельности (Sadaghiani, 2010; Паро, 2013). Было показано, что, изучая особенности электрической активности мозга в различных частотных диапазонах, можно подойти к поиску условий, позволяющих дистантно разобщенным полям, согласовать в пространстве и во времени свою деятельность (Von Stein, 2000). Однако даже самый тщательный анализ спектральных характеристик ЭЭГ не обеспечивает достаточно полного извлечения информации из сигнала. Возникает необходимость поиска новых инструментов для оценки системных проявлений деятельности мозга. Перспективным подходом может изучение пространственно-временных отношений ЭЭГ, в том числе с использованием математического аппарата нелинейной динамики (Rodríguez-Bermudez, 2015; Мышкин, И.Ю., 2012).

Целью настоящей работы является анализ связи индивидуальных особенностей фоновой электрической активности головного мозга с успешностью осуществления когнитивной деятельности.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Оценить показатели произвольного внимания, объем кратковременной памяти, скорость психомоторных реакций, а также уровень развития общих способностей в группе здоровых молодых взрослых. Выявить взаимоотношения между уровнем развития общих способностей и способностей к отдельным видам познавательной деятельности.

2. Изучить особенности топической организации ЭЭГ методами спектрального и автокорреляционного анализа. Оценить уровень

корреляционной связи между этими параметрами и успешностью осуществления когнитивной деятельности.

3. Оценить уровень согласованности локальных биоэлектрических процессов фоновой ЭЭГ методом «объемов», а также определить связь этих показателей с успешностью выполнения тестов внимания, памяти, скорости реакции и общих способностей.

4. Оценить особенности временной динамики фоновой ЭЭГ с помощью расчета корреляционной размерности восстановленного аттрактора сигнала, определить взаимоотношения между величиной корреляционной размерности и уровнем развития когнитивных способностей.

Научная новизна работы.

Получены новые данные о роли индивидуальных особенностей фоновой ЭЭГ височных областей коры в альфа- и тета-диапазонах частот в организации процессов зрительного произвольного внимания. Активация связей височных корковых полей, вовлеченных в обработку зрительной информации, с другими церебральными структурами на частоте альфа-ритма рассматривается как важное условие подготовки мозга к анализу зрительной информации.

Продемонстрирована информативность использования корреляционной размерности фоновой ЭЭГ в качестве потенциального биомаркера объема внимания и кратковременной памяти индивида.

Предложен новый способ оценки параметров внимания, объема памяти и уровня развития невербальных способностей, базирующийся на анализе индивидуальных характеристик фоновой ЭЭГ.

Впервые показано, что связь общих познавательных способностей с объемом кратковременной памяти и особенностями произвольного внимания можно проследить на нейрофизиологическом уровне.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Полученные данные позволяют приблизиться к раскрытию механизмов функционирования мозга, лежащих в основе обеспечения когнитивных процессов.

Результаты работы могут быть использованы для разработки тренинга на основе биологической обратной связи, направленного на улучшение когнитивных способностей как у здоровых испытуемых, так и у лиц, страдающих дефицитом внимания.

Предложенные нами новые способы оценки уровня развития когнитивных способностей могут быть использованы в целях профессионального отбора для уточнения и объективизации результатов психологического тестирования.

Данные о роли электрической активности мозга в обеспечении когнитивных процессов могут быть использованы в ходе занятий по курсам «Высшая нервная деятельность», «Нейрофизиология» и «Психофизиология».

Методология и методы исследования. Для описания индивидуальных особенностей фоновой электрической активности головного мозга было использовано несколько методов обработки электроэнцефалограммы. Произведена оценка особенностей ЭЭГ с помощью спектрального и автокорреляционного анализа. Исследована степень пространственно-временной синхронизации локальных ЭЭГ сигналов с помощью метода «Объёмов». Оценены особенности временной динамики биоэлектрической активности мозга на основе расчета расчет корреляционной размерности восстановленного аттрактора ЭЭГ.

Положения, выносимые на защиту:

1. Комплексный анализ индивидуальных особенностей пространственно-временной организации фоновой ЭЭГ позволяет подойти к поиску оптимальных условий для формирования временных функциональных объединений церебральных структур, обеспечивающих высокую эффективность определенных видов когнитивной деятельности.

2. Установлено, что наибольшую концентрацию зрительного внимания показывают те испытуемые, у которых в средневисочных отведениях фоновой ЭЭГ регистрируется более высокий альфа-индекс и у которых наблюдается более высокая степень синхронизации электрической активности, зарегистрированной от левого средневисочного отведения, с сигналами, зарегистрированными от других корковых полей.

3. Обнаружено, что уменьшение альфа-индекса, наряду с увеличением мощности тета-активности фоновой ЭЭГ в средневисочном отведении левого полушария сопровождается снижением концентрации зрительного внимания у испытуемых.

4. Выявлено, что увеличение разнообразия волновых паттернов фоновой ЭЭГ, оцениваемого по величине корреляционной размерности, сопровождается увеличением объема внимания и кратковременной памяти.

Апробация результатов. Материалы диссертации были представлены на XV Всероссийском совещании с международным участием и VIII школе по эволюционной физиологии, посвященных памяти академика Л.А. Орбели и 60-летию ИЭФБ РАН (Санкт-Петербург, 2016 г.); международных междисциплинарных конгрессах "Нейронаука для медицины и психологии" (Судак, 2014 и 2016 г.); конференциях с международным участием "Современные проблемы нейробиологии" (Ярославль, 2014 и 2016 г.); съездах физиологов СНГ (Сочи-Дагомыс, 2014 и 2016 г.); XXII съезде Физиологического общества имени И.П. Павлова (Волгоград, 2013). Материалы диссертации отражены в 12 **публикациях**, из них 4 в журналах из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук.

Разработана программа для ЭВМ «Программа для оценки когнитивных способностей». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015660908 (2015 г).

Личный вклад автора. Все экспериментальные данные получены лично автором или при её непосредственном участии. Обработка электроэнцефалограмм, анализ и обобщение результатов, поиск литературы по теме исследования были проведены автором работы.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 159 страницах печатного текста, включает 25 рисунков и 17 таблиц. Работа содержит разделы: «Введение», «Обзор литературы», «Материалы и методы», «Результаты», «Обсуждение», «Заключение», «Выводы», «Список

литературы», «Приложение». Список литературы включает 223 источника, из них 106 отечественных и 117 зарубежных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Было обследовано 89 студентов Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова в возрасте от 19 до 26 лет, из них 23 юноши и 66 девушек. Ведущая рука – правая. Обследование проводили после предварительно взятого информированного согласия на участие в исследовании в качестве испытуемых. У всех обследованных была зарегистрирована электроэнцефалограмма, помимо этого каждый испытуемый выполнял несколько психофизиологических тестов. Количество человек, принявших участие в каждом из четырех тестовых заданий составило от 78 до 85. Поскольку изучалась связь именно индивидуальных особенностей ЭЭГ с успешностью когнитивной деятельности, то ЭЭГ наблюдения и тестирование проводились обычно в разные дни.

ЭЭГ регистрировали в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами с помощью 21-канального электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-4/ВППМ» (Нейрософт, Иваново) с полосой пропускания 0,5-35 Гц и частотой опроса 500 раз в секунду. Применяли монополярный способ отведения с объединенным референтным ушным электродом. Восемь пар активных электродов располагали по международной схеме «10-20», в симметричных переднелобных (Fp1, Fp2), лобных (F3, F4), нижнелобных (F7, F8), центральных (C3, C4), теменных (P3, P4), затылочных (O1, O2), средневисочных (T3, T4) и задневисочных (T5, T6) областях. Для обработки записи ЭЭГ использовали не менее 20 безартефактных эпох, продолжительностью по 4 секунды.

Спектральный анализ производили в следующих частотных диапазонах ЭЭГ: тета-диапазон (4-8 Гц); альфа-диапазон (8-13 Гц); низкочастотный бета-диапазон, или бета1 (13-20 Гц); высокочастотный бета-диапазон, или бета2 (20-35 Гц) с помощью программного обеспечения

«Нейрон-спектр.NET» (Нейрософт, Иваново). Вычисляли спектральную мощность, доминирующую частоту, индекс и коэффициент межполушарной асимметрии мощности электрической активности в каждом из указанных диапазонов. **Автокорреляционный анализ** проводили на эпохах продолжительностью 500 мс. Вычисляли амплитуду, время первого пересечения нуля и максимальный интервал автокорреляционной функции. Помимо этого, оценивали коэффициент автокорреляции сигнала.

Для изучения пространственно-временной организации суммарного поля биопотенциалов мозга, был использован так называемый **метод «Объемов»** (Барвинок, Рожков 1992). На основе матрицы коэффициентов корреляции каждый ЭЭГ сигнал от конкретного отведения был представлен в виде радиус-вектора в евклидовом пространстве, длина которого равна единице, а косинус угла между двумя векторами являлся коэффициентом корреляции между соответствующими сигналами. Чем больше были скоррелированы ЭЭГ процессы, тем меньше были углы между векторами, тем уже был пучок, меньше «рассеяние» ЭЭГ-векторов (Цицерошин, 1986). В качестве меры синхронизации, точнее – линейной зависимости нескольких ЭЭГ процессов, был выбран объем, занимаемый пучком этих векторов в пространстве (VOL). Кроме этого оценивали показатели степени отличия i -го сигнала от совокупности остальных – $V(i)$ – т.е. «доля объема», приходящаяся на i -й вектор. Данный показатель был вычислен для всех 16 отведений.

Корреляционную размерность ЭЭГ рассчитывали на основе метода Гроссбергера-Прокаччиа (Grassberger., Procaccia 1983). Для вычисления корреляционной размерности восстановленного аттрактора ЭЭГ брали 40000 отсчетов сигнала. На этом отрезке сигнала размещали опорные паттерны с временной задержкой 8 отсчетов. Анализировали корреляционную размерность, вычисленную для размерности вложения, равной восьми, чему соответствовала длина опорного паттерна 112 мс. Алгоритм расчета корреляционной размерности подробно изложен и был опробован в работах И.Ю.Мышкина и В.В. Майорова (Мышкин, 1993; Майров, 1995).

Для оценки скорости психомоторной деятельности были использованы тесты **времени простой сенсомоторной реакции и времени реакции**

двухальтернативного выбора. После прохождения испытуемым этих двух тестов рассчитывали **«центральное время»**, которое представляет собой разность время реакции выбора и простой сенсомоторной реакции. Мы предполагаем, что эта разность характеризует время, которое затрачивается испытуемым на принятие решения. Для определения информационной емкости мозга был использован тест **объема зрительной вербальной кратковременной памяти**, суть которого заключалась в необходимости механического запоминания предъявленных цифр и их последовательности. Для оценки параметров внимания использовали компьютерную версию **корректирующей пробы Бурдона-Анфимова**. Испытуемый должен был просматривать на экране монитора бланк, на котором были расположены ряды букв. Используя правую и левую клавиши мыши, необходимо было выбирать только две заранее указанные буквы – букву «К» и букву «И». Тест длился 10 минут, при этом через каждую минуту по звуковому сигналу испытуемый должен был менять режим работы. (Андронникова, Заика, 2011). Для изучения общих способностей индивида был использован тест **«Домино»**, который предназначался для измерения невербальных интеллектуальных способностей у лиц, старше 12 лет. Использовали методику в адаптации И.Г. Сенина и В.И. Чиркова. Основным элементом всех тестовых заданий является изображение фишек домино, расположенных в соответствии с различными закономерностями. Одна из фишек (последняя в ряду) «пустая» и обозначается пунктирным контуром. Испытуемый должен был выявить принцип, согласно которому выстроены фишки, и определить ту фишку, которую следует поставить на место, обозначенное пунктиром.

Статистический анализ результатов проводился в пакете программ Statistica 10.0. Проверку соответствия распределения данных нормальному распределению проводили с использованием критерия Колмогорова-Смирнова. Для изучения структуры первичных данных, а также для сокращения количества анализируемых переменных, применяли метод главных компонент. Для получения факторов, которые имеют высокие факторные нагрузки для одних переменных, и низкие для других, использовали вращение, минимизирующее дисперсию – веримакс-вращение.

Связь между двумя переменными оценивали по коэффициенту корреляции Пирсона (КК). Одновременно с расчетом коэффициента, оценивали его статистическую значимость, т.е. проверяли нулевую гипотезу об отсутствии связи между исследуемыми параметрами. КК считали значимыми при $p < 0,05$. Для оценки связи между одной зависимой и несколькими независимыми переменными применяли множественный регрессионный анализ методом последовательного исключения переменных. Принимали пятипроцентный уровень значимости коэффициентов в уравнении регрессии.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В задачи исследования входило изучение взаимоотношений между уровнем развития общих способностей, измеренных с помощью теста «Домино», и оценками внимания, памяти и скорости реакции. Установлено, что коэффициент правильности и коэффициент продуктивности выполнения корректурной пробы коррелировали с успешностью выполнения теста «Домино», КК составили соответственно $+0,29$ ($p < 0.05$) и $+0,26$ ($p < 0.05$). Результаты теста общих способностей также были связаны с объемом кратковременной памяти, КК равен $+0,25$ ($p < 0.05$). Напрашивается вопрос, будет ли связь успешности выполнения теста общих способностей с оценками памяти и внимания проявляться на нейрофизиологическом уровне, т.е. будут ли особенности фоновой ЭЭГ, отражающие успешность выполнения тестов памяти и внимания, демонстрировать связь с результатами теста «Домино»? Для ответа на этот вопрос мы попытались комплексно подойти к оценке фоновой биоэлектрической активности коры, выделить ее основные особенности и проанализировать их взаимоотношения с успешностью тестовой деятельности.

Связь локальных особенностей биоэлектрической активности мозга с успешностью когнитивной деятельности. Для каждого из 16 отведений оценивалась статическая связь успешности выполнения тестов невербального интеллекта, внимания, памяти и скорости реакции со спектральными характеристиками биоэлектрической активности мозга в четырех основных частотных диапазонах, а также с параметрами автокорреляционной функции

сигнала ЭЭГ. Анализ полученных результатов позволил выявить статистически достоверную связь между спектральными характеристиками ЭЭГ в тета- и альфа-диапазонах и показателями точности выполнения корректурной пробы, такими как количество ошибочно пропущенных букв и коэффициент правильности. Альфа-индекс ЭЭГ, зарегистрированной от нижнелобных, центральных и средневисочных отведений левого полушария, коррелировал с точность выполнения корректурной пробы: в исследованной выборке студентов, увеличение альфа-индекса сопровождалось снижением количества ошибок и возрастанием коэффициента правильности. Значимые при $p < 0.05$ КК ($r > 0.22$ для объема выборки 85 человек) представлены на рисунке 1. Наибольшую достоверность ($p < 0.01$) демонстрирует статистическая связь между индексом активности альфа-диапазона в левом височном отведении и количеством ошибок.

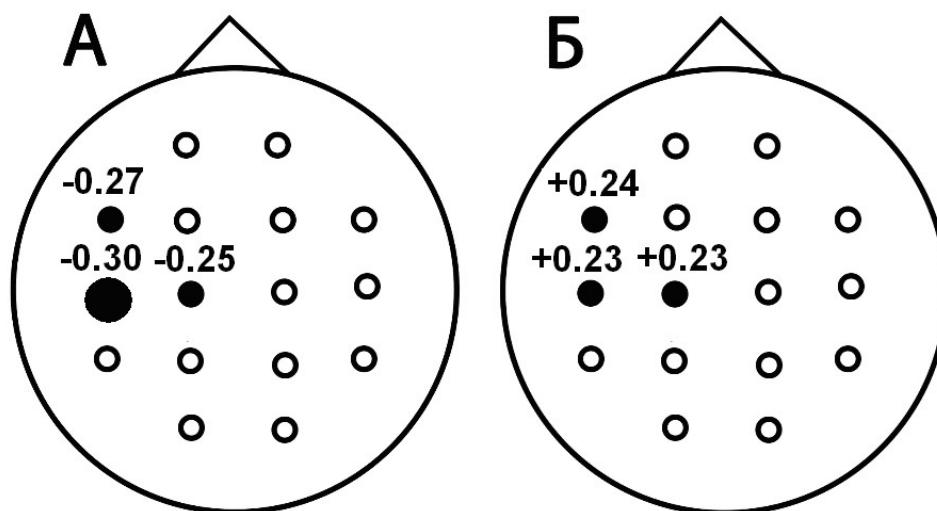


Рисунок 1 – Локализация областей коры, для которых проявляется отрицательная корреляционная связь между величиной альфа-индекса и количеством ошибочно пропущенных букв (А), а также положительная связь между величиной альфа-индекса и коэффициентом правильности выполнения корректурной пробы (Б). Величина КК указана над соответствующим отведением. Уровень значимости коэффициента корреляции отражает диаметр черного круга: меньший диаметр соответствует $p < 0.05$, больший диаметр $p < 0.01$.

Для проверки влияния величины альфа-индекса в левом средневисочном отведении на точность выполнения корректурной пробы исследуемая выборка была разделена на две группы: в первую вошли испытуемые, имеющие альфа-индекс в отведении Т3 ниже среднего ($n=47$), во вторую – имеющие альфа-индекс в отведении Т3 выше среднего ($n=38$). Анализ результатов выполнения теста в обеих группах показал, что испытуемые, у которых альфа-индекс в левом средневисочном отведении был выше среднего (группа 2) совершали достоверно меньшее количество ошибок (значение t-критерия = 2,68, $p = 0,01$), и показывали достоверно больший коэффициент правильности выполнения корректурной пробы (значение t-критерия = -2,55, $p = 0,01$) (рисунок 2).

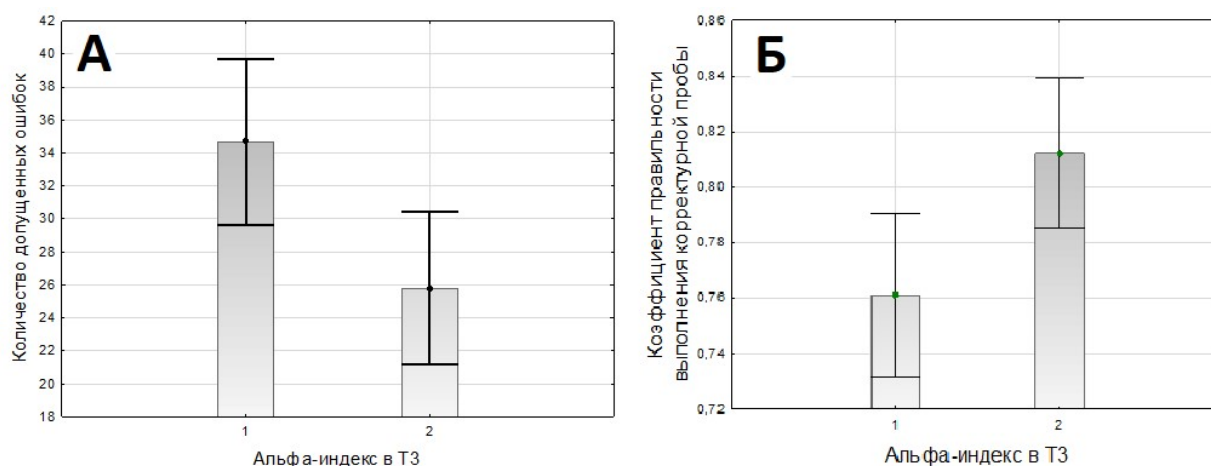


Рисунок 2 – Различия в количестве ошибочно пропущенных букв (А) и коэффициенте правильности выполнения корректурной пробы (Б) в группах испытуемых с альфа-индексом в отведении Т3 ниже среднего (группа 1) и выше среднего (группа 2). Столбцы показывают среднее значение изучаемого параметра, отрезками отмечен 95% доверительный интервал.

Анализ статистической связи мощности тета-диапазона с параметрами корректурной пробы позволил выявить следующую тенденцию: при увеличении спектральной мощности колебаний тета-диапазона количество пропущенных букв возрастает, а коэффициент правильности выполнения корректурной пробы снижается (рис. 3).

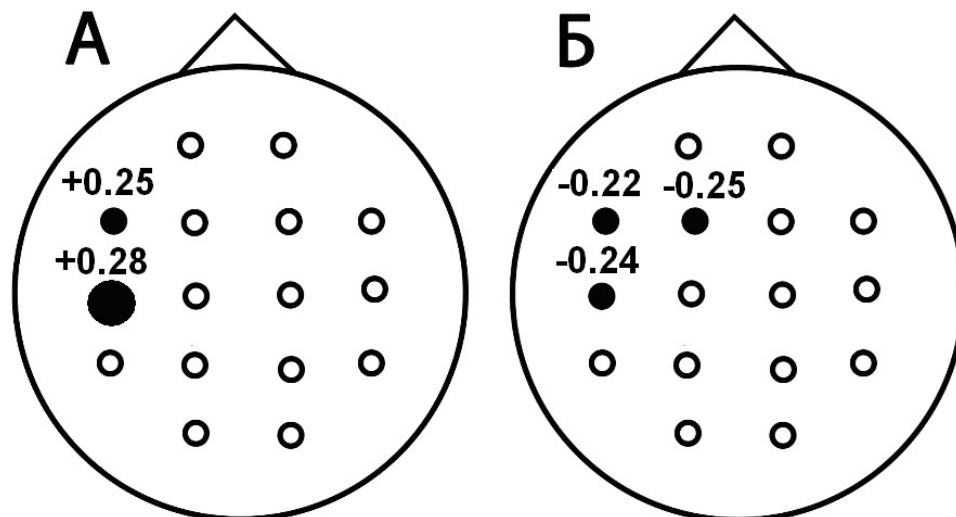


Рисунок 3 – Локализация областей коры, для которых проявляется положительная корреляционная связь между спектральной мощностью колебаний тета-диапазона и количеством ошибочно пропущенных букв (А), а также отрицательная корреляционная связь между спектральной мощностью колебаний тета-диапазона и коэффициентом правильности выполнения корректурной пробы (Б). Обозначения как на рисунке 1.

Интересно, что связь мощности тета-диапазона ЭЭГ с точностью выполнения корректурной пробы наблюдалась практически для тех же областей коры, для которых была установлена связь между параметрами внимания и индексом колебаний альфа-диапазона, т.е. для лобных, нижнелобных и височных отведений. При этом наибольший уровень значимости демонстрирует статистическая связь между индексом активности альфа-диапазона в левом височном отведении и количеством ошибок ($p < 0.01$). Разделение выборки на две группы на основе среднего значения спектральной мощности тета-диапазона в отведении ТЗ позволило установить, что испытуемые, у которых мощность тета-диапазона ЭЭГ в левом средневисочном отведении была выше среднего ($n = 32$), допускали достоверно большее количество ошибок (значение t-критерия = $-2,08$ $p = 0,04$) в ходе выполнения корректурной пробы Бурдона, чем студенты, имеющие значение спектральной мощности колебаний тета-диапазона ниже среднего значения ($n = 53$). Таким образом, можно предположить, что выраженность альфа- и тета-диапазонов в левой височной области фоновой ЭЭГ связаны

реципрокными взаимоотношениями: при увеличении выраженности альфа-активности снижается количество допущенных ошибок и возрастает коэффициент правильности выполнения корректурной пробы, при увеличении выраженности тета-активности количество ошибок возрастает, а коэффициент правильности снижается. Коэффициент связи количества пропущенных букв (зависимая переменная) одновременно с двумя показателями, такими как альфа-индекс и спектральная мощность тета-диапазона в отведении ТЗ (независимые переменные), составил 0,40. Коэффициент связи этих же параметров ЭЭГ с коэффициентом правильности выполнения корректурной пробы составил 0,34.

Помимо показателей внимания, обнаружена значимая связь спектральных характеристик альфа-диапазона с успешностью выполнения теста «Домино». Его результаты коррелировали со спектральной мощностью колебаний в альфа-диапазоне в центральных (С3 и С4), средневисочных (Т3 и Т4) и теменных (Р3 и Р4) отведениях. Коэффициент корреляции (КК) сравниваемых показателей составили от +0,24 до +0,30. При этом наиболее значимая статистическая связь ($p < 0,01$) получена для теменного и средневисочного отведений левого полушария. Альфа-индекс фоновой ЭЭГ также был положительно связан с результатами выполнения теста «Домино» в височных (Т3 и Т4) и левом задневисочном (Т5) отведениях. КК составили +0,26, +0,30 и +0,28 соответственно.

Тест корректурная проба подразумевает управляемый вниманием выбор целевой буквы из других объектов, представленных в зрительном поле. Современные данные показывают, что для распознавания целостного образа, например, буквы, необходимо взаимодействие первичной зрительной коры (поля V1, или цитоархитектонического поля 17 по Бродману (ВА17)) с претриарной корой (ВА18 или V2), а также с цитоархитектонической зоной ВА19 (поля V3, V4, V5) (Шелепин К.Ю., 2015). Затем в обработку включаются последующие каскады, обеспечивающие взаимодействие затылочной коры с теменной, височной и лобными областями (Shioiri, 2016, Шелепин Ю.Е., 2014, Roe et al, 2012, Fias et al, 2002). Поскольку теменно-височные области мозга участвуют в высокоуровневой обработке зрительной

информации, мы полагаем, что характер фоновой электрической активности мозга в этих зонах, а также взаимодействие теменных и височных корковых полей с другими церебральными структурами отражается на успешности осуществления процессов зрительного внимания.

Связь степени пространственно-временной синхронизации локальных биоэлектрических процессов фоновой электроэнцефалограммы с успешностью когнитивной деятельности.

Помимо оценки локальных особенностей ЭЭГ, мы также изучили показатели, характеризующие степень согласованности сигналов, зарегистрированных от различных отведений (метод «Объемов»). Особое внимание уделялось количественной оценке различий сигнала в каждом отведении ЭЭГ от суммарной динамики биопотенциального поля коры ($V(i)$). Сравнительная оценка вклада локальных ЭЭГ сигналов от различных отведений в организацию суммарного поля биопотенциалов мозга также подтверждает связь ЭЭГ в левом средневисочном отведении с успешностью прохождения корректурной пробы. Чем меньше сигнал в отведении ТЗ был скоррелирован сигналами от других отведений, тем меньше был коэффициент правильности выполнения задания. Коэффициент корреляции (КК) между долей объема рассеяния ($V(i)$), приходящейся на процесс, зарегистрированный в левом височном отведении, и коэффициентом правильности составил $-0,27$ ($p < 0.05$). Таким образом, относительно высокая исходная степень корреляции ЭЭГ процесса, зарегистрированного от левого средневисочного отведения с сигналами от других отведений, способствует более точному выполнению корректурной пробы, что позволяет предполагать особую функциональную роль этого отдела мозга в обеспечении зрительного внимания. Синхронизация височных областей, как конечных звеньев вентрального зрительного пути, с другими отделами коры, должна способствовать более эффективному выполнению задач на зрительное внимание. Учитывая вербальный характер используемого нами теста, можно предположить особую роль левой височной области в успешности его выполнения. Полученные данные подтверждают мнение, что индивидуальные особенности пространственной организации электрической активности мозга оказывают существенное влияние на

правильность выполнения корректурной пробы. Относительно высокая степень корреляции ЭЭГ процесса, зарегистрированного от левого височного отведения, с сигналами от других отведений сопровождается большей точностью выполнения корректурной пробы. Можно предположить, что высокая степень корреляции достигается за счет высокого альфа-индекса, регистрируемого в левом височном и соседних с ним отведениях.

Помимо связи пространственной организации биопотенциалов с процессами внимания, установлена их корреляция с объемом кратковременной памяти. Оказалось, что чем больше сигналы ЭЭГ, зарегистрированные от различных отведений, коррелировали между собой, тем больше был объем кратковременной памяти испытуемых. КК между объемом кратковременной памяти и степенью независимости сигналов от всех ЭЭГ отведений (VOL) составил $-0,24$ ($p < 0.05$). Эти данные позволяют предположить, что исходно высокая степень синхронизации электрической активности от разных областей коры у здоровых индивидов соответствует большему объему кратковременной памяти.

Связь особенностей временной динамики сигнала ЭЭГ с успешностью когнитивной деятельности. В теории динамических систем существуют методы, позволяющие на основе временной последовательности одного параметра восстановить некоторые характеристики всей нелинейно-динамической системы. Если в каждый момент времени характеризовать состояние системы точкой в фазовом пространстве, а изменение состояний системы рассматривать как движение этой точки, тогда множество точек, являющихся последовательностью состояний образуют фазовую траекторию, или аттрактор системы. Одной из характеристик сложности аттрактора является его размерность. Можно сказать, что размерность аттрактора в какой-то мере характеризует стохастичность процесса: чем меньше размерность, тем более детерминированным является процесс, чем она больше, тем более сложным и менее предсказуемым является поведение системы (Меклер, 2007). Показано, что величина размерности аттрактора ЭЭГ возрастает по мере увеличения количества периодических компонентов сигнала (Lutzenberger, et al., 1995). Ряд современных исследований

демонстрирует, что при помощи корреляционной размерности восстановленного аттрактора ЭЭГ можно судить, насколько генерализованно протекают процессы в головном мозге или насколько вариативна его деятельность (Boustani, Destexhe, 2010; Омельченко, Михальчик, 2014; Kalauzi at al, 2015; Канунников, 2016).

Анализ собственных результатов исследования показал, что величина корреляционной размерности в центральном, теменном и затылочном отведениях правого полушария положительно связана с количеством знаков, обработанных за время выполнения корректурной пробы и с коэффициентом продуктивности выполнения теста (таблица 1). Мы предполагаем, что связь получена именно в тех отведениях, в которых был лучше всего выражен основной частотный компонент фоновой ЭЭГ – альфа-ритм. Поскольку количество символов, обработанных при выполнении корректурной пробы, в первую очередь отражает объем внимания, можно думать, что сложность временной динамики активности альфа-диапазона положительно связана с объёмом внимания испытуемых.

Таблица 1 – Коэффициенты корреляции между корреляционной размерностью и скоростью выполнения корректурной пробы.

Отведе- ние	Количество просмотренных букв	Количество правильно выбранных букв	Коэффициент продуктивности
С4	0,25*	0,16	0,21
Р4	0,29**	0,19	0,22*
О2	0,29**	0,40***	0,39***

* коэффициенты корреляции, значимые при $p < 0.05$, ** коэффициенты корреляции, значимые при $p < 0.01$, *** коэффициенты корреляции, значимые при $p < 0.001$.

Корреляционная размерность ЭЭГ в левом переднелобном отведении оказалась связана с объемом кратковременной памяти испытуемых. Коэффициент корреляции составил +0,24 ($p < 0.05$). В исследованной выборке молодых взрослых увеличение корреляционной размерности сопровождалось возрастанием объема кратковременной памяти. Если принять во внимание

данные о том, что величина корреляционной размерности отражает количество независимых генераторов электрической активности мозга (Lutzenberger, et al., 1995), то наши данные согласуются с представлениями А.Н. Лебедева о кодировании информации устойчивыми комбинациями из разных фаз когерентных незатухающих волн нейронной активности (Лебедев, 2007). Кроме того, эти результаты поддерживают модели волновой памяти, разработанные на основе концепции А.Н.Лебедева (Кашенко, Майоров, 2013).

Анализ связи корреляционной размерности ЭЭГ с успешностью прохождения теста «Домино» позволил выявить достоверную положительную связь между этими характеристиками. КК между уровнем невербального интеллекта и корреляционной размерностью ЭЭГ составили +0,23 ($p < 0,05$) для левого переднелобного и +0,25 ($p < 0,05$) для правого нижнелобного отведений. Таким образом, чем выше было разнообразие независимых генераторов суммарной электрической активности мозга в передних отведениях, тем выше был уровень невербального интеллекта испытуемых. Примечательно, что с уровнем IQ, была ассоциирована корреляционная размерность ЭЭГ в левом переднелобном отведении, которая также демонстрировала связь с объемом кратковременной памяти.

ВЫВОДЫ

1. Успешность выполнения теста общих способностей «Домино» здоровыми молодыми взрослыми положительно связана с оценками правильности и продуктивности выполнения теста особенностей зрительного внимания «Корректирующая проба Б.Бурдона», а также объемом кратковременной памяти.

2. Правильность выполнения теста «Корректирующая проба Б.Бурдона» обнаруживает достоверную положительную корреляцию с величиной альфа-индекса фоновой ЭЭГ, зарегистрированной в левом средневисочном отведении и отрицательную корреляцию с величиной спектральной мощности ЭЭГ в тета-диапазоне, зарегистрированной от левой средневисочной области.

3. Успешность выполнения теста общих способностей «Домино» коррелирует с альфа-индексом ЭЭГ в средневисочных областях и спектральной мощностью фоновой электрической активности в диапазоне 8-20 Гц в центральных, теменных и височных областях коры головного мозга.

4. Увеличение уровня согласованности фоновой электрической активности, зарегистрированной от левой средневисочной области с электрической активностью других корковых полей сопровождается статистически достоверным увеличением точности выполнения теста особенностей зрительного внимания «Корректирующая проба Б.Бурдона» в выборке здоровых молодых взрослых. Степень согласованности фоновой электрической активности всех исследованных корковых областей положительно коррелирует с объемом кратковременной памяти испытуемых.

5. Объем информации, обработанный в ходе выполнения теста «Корректирующая проба Б.Бурдона», обнаруживает достоверную положительную связь с корреляционной размерностью ЭЭГ в правых теменных и затылочных отведениях. Величина корреляционной размерности ЭЭГ, зарегистрированной от левой префронтальной области коры, положительно коррелирует с оценками объема кратковременной памяти и успешностью прохождения теста общих способностей «Домино».

6. Предложена гипотеза о роли фоновой ЭЭГ альфа-диапазона в обеспечении условий, содействующих системному взаимодействию височной коры с другими церебральными структурами, как важного фактора, участвующего в преднастройке мозга к когнитивной деятельности, требующей анализа зрительной информации.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук:

1. Станкова, Е.П. О связи индивидуальных характеристик ЭЭГ с уровнем интеллекта / Е.П.Станкова, И.Ю.Мышкин // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. 2016. № 4. С.83-88.
2. Станкова, Е.П. Модель объема кратковременной памяти на основе нейрофизиологических предикторов / Е.П.Станкова, И.Ю.Мышкин // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2016. – N 5. – С. 34-36.
3. Станкова, Е.П. Тестирование скорости реакции для прогноза успешности деятельности учащихся / Е.П.Станкова, И.Ю.Мышкин // Ярославский педагогический вестник. – 2014. – Т. 2, N 1. – С. 84-88.
4. Станкова, Е.П. Влияние индивидуальных характеристик ЭЭГ и психофизиологических особенностей на время реакции / Е.П.Станкова, И.Ю.Мышкин // Современные проблемы науки и образования: электрон. научн. журн. – 2014. – №1. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=12242> (дата обращения: 06.12.2016).

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: Программа для анализа когнитивных способностей / Е.П.Станкова, О.А.Дунаева, И.Ю.Мышкин, М.А.Крылов / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ N 2015660908. – 2015.

Работы в других печатных изданиях:

1. Станкова, Е.П. Исследование когнитивных функций учащихся с помощью электроэнцефалограммы / Е.П.Станкова // XXII съезд Физиологического общества имени И.П. Павлова: Тезисы докладов. - Волгоград: Изд-во ВолгГМУ. – 2013. – С.9-14.
2. Станкова, Е.П. Связь индивидуальных особенностей фоновой ЭЭГ с уровнем невербального интеллекта / Е.П.Станкова, И.Ю.Мышкин // тезисы XII международного междисциплинарного конгресса "Нейронаука для медицины и психологии", Судак, Россия, 1-12 июня 2016г. – С.379-380.

3. Станкова, Е.П. Индивидуальные особенности электроэнцефалограммы и объем кратковременной памяти / Е.П.Станкова // Современные проблемы нейробиологии. Структура и функции нервной системы в норме и патологии. Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием, Ярославль, Россия, 12-14 мая 2016г. – Ярославль: ГБОУ ВПО ЯГМУ Минздрава России, 2016. – С.54-55.

4. Станкова, Е.П. Модель уровня интеллекта на основе индивидуальных характеристик фоновой электроэнцефалограммы / Е.П.Станкова // Пятнадцатое Всероссийское Собрание с международным участием и восьмая Школа по эволюционной физиологии. Сборник материалов. Санкт-Петербург, 17–22 октября 2016 г. — СПб.: ВВМ, 2016. – С.232.

5. Станкова, Е.П. ЭЭГ и объем кратковременной памяти / Е.П.Станкова, И.Ю.Мышкин // тезисы X международного междисциплинарного конгресса "Нейронаука для медицины и психологии". – 2014. – С.315-316.

6. Станкова, Е.П. Время реакции и индивидуальные параметры ЭЭГ / Е.П.Станкова, И.Ю.Мышкин // Научные труды IV съезда физиологов СНГ, Сочи-Дагомыс, Россия, 8-12 октября 2014 г. – 2014. – С.77.

7. Мышкин И.Ю. Функциональная роль сложности биологических процессов / И.Ю.Мышкин, Е.П.Станкова // Материалы научной конференции с международным участием, посвященной 70-летию Ярославской государственной медицинской академии "Современные проблемы нейробиологии", 31 октября - 1 ноября 2014 г. – 2014. – С.34-35.

8. Станкова, Е.П. Использование психофизиологических параметров для оценки эффективности деятельности / Е.П.Станкова // Актуальные проблемы современной науки: труды 14 международной конференции «Актуальные проблемы современной науки». Естественные науки Ч.5 Биологические науки, Самара, изд. СГОА(Н), СамГТУ. – 2013. – С.501.