На правах рукописи

ПРИВОДНОВА ЕВГЕНИЯ ЮРЬЕВНА

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТВОРЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЗГА В ПРОЦЕСЕ РЕШЕНИЯ ДИВЕРГЕНТНОЙ ЗАДАЧИ ПРИ УСПЕШНОМ МЕНТАЛЬНОМ СТАРЕНИИ

19.00.02 – психофизиология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Новосибирск - 2018

Работа выполнена в лаборатории физиологии когнитивной деятельности Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины» (НИИФФМ), г. Новосибирск.

Научный руководитель – Нина Валерьевна Вольф, доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией физиологии когнитивной деятельности НИИФФМ.

Официальные оппоненты:

Штарк Марк Борисович - доктор биологических наук, академик РАН, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт молекулярной биологии и биофизики», г. Новосибирск;

Пономарев Валерий Александрович – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории нейробиологии программирования действия Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой Российской академии наук», г. Санкт-Петербург.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск.

Защита диссертации состоится «_____» _____ 2018 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 001.014.01 на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины» по адресу: 630117, г. Новосибирск, ул. Тимакова, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины», http://physiol.ru

Автореферат разослан «_____» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д-р биол. наук В.Н. Мельников

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования

Снижение рождаемости и рост продолжительности жизни, обусловленный улучшениями в условиях жизни и здравоохранении, легли в основу такой глобальной демографической тенденции как старение населения. В соответствии с прогнозом ООН к 2050 количество пожилых людей в экономически развитых странах превысит количество детей младше 15 лет. Значительный рост продолжительности жизни сопровождается повышением риска развития нарушений когнитивных функций и нейродегенеративных заболеваний, снижающих качество жизни пожилых людей. Эти факторы делают актуальной проблему сохранения высокого умственного потенциала при старении, лежащего в основе продолжения активной и самостоятельной жизни.

В психологических исследованиях установлено, что творческая деятельность в пожилом возрасте оказывает нейропротекторный эффект (McFadden, Basting, 2010), позволяет замедлить развитие деменции (Johnson, Sullivan-Marx, 2006; Price, Tinker, 2014) и снижает риск возникновения депрессии пожилого возраста (Parisi et al., 2014). Благодаря когнитивной стимуляции и связи с такими личностными характеристиками, как открытость опыту, гибкость и независимость, креативное мышление является одним из важных компонентов успешного ментального старения.

Важно отметить, что сохранение креативного потенциала в пожилом возрасте приобретает все большее самостоятельное значение, поскольку высокая продуктивность профессиональной деятельности в постиндустриальном обществе зачастую связана с нахождением креативных решений (Sawyer, 2012; Heilman, 2016). В данной связи, актуальность изучения механизмов творческого мышления и его продуктивности при старении не вызывает сомнений.

Многие работы показали возможность сохранения высокого уровня креативности в пожилом возрасте (Foos, Boone, 2008; Roskos-Ewoldsen et al., 2008; Leon et al., 2014; Palmiero et al., 2014; Madore et al., 2016), однако нейрофизиологические основы данного феномена практически не изучены.

Степень разработанности темы исследования

Не смотря на актуальность исследования нейрофизиологических основ сохранения креативного потенциала при старении, наиболее изученным является психологический аспект проблемы. Многочисленные работы выявили как сохранность творческого мышления в пожилом возрасте (Roskos-Ewoldsen et al., 2008; Leon et al., 2014; Palmiero et al., 2014; Madore et al., 2016), так и его ухудшение (McCrae et al., 1987). Одним из факторов расхождения полученных результатов может являться особенность выборки. В связи с высокой гетерогенностью старения во второй половине XX века возникло представление об успешном старении, под которым подразумевается предотвращение болезней и инвалидности, поддержание высокого физического и когнитивного функционирования, участие в социальной и производственной деятельности (Rowe, Kahn, 1997; Bowling, Dieppe, 2005; Moody, 2005; Jeste et al., 2010; Brandt et al., 2012; Martin et al., 2015; Stowe, Cooney, 2015; Tyrovolas et al., 2017). Сохранение креативности можно ожидать при успешном ментальном старении, одним из основных критериев которого является продолжение профессиональной деятельности (Hall et al., 2009; Stern, 2009; Amieva et al., 2010; Plassman et al., 2010, Reed et al., 2011; Wilson et al., 2013).

В рамках психометрического подхода были разработаны гипотезы, объясняющие высокую эффективность в выполнении креативных тестов пожилыми людьми: широкое использование сохранной семантической памяти (Madore et al., 2016) и опора на сохранные вербальные способности (Palmiero et al., 2014). Хотя показана связь склонности к поиску, открытости опыту, интеллекта, когнитивного контроля с креативностью на молодых испытуемых (Beaty, Silvia. 2012; Chrysikou et al., 2013; Tan et al., 2016; Zabelina, Ganis, 2018), вклад этих показателей в креативность пожилых испытуемых совершенно не изучен.

В настоящее время существует одна работа по исследованию ЭЭГ коррелятов творческого мышления при старении, направленная на изучение корреляций фоновой активности мозга с уровнем креативности у пожилых испытуемых (Ueno et al., 2014). Мы не нашли исследований, изучающих связанные со старением особенности временной динамики мозговой активности во время решения экспериментальных творческих задач.

Таким образом, нейронные механизмы, лежащие в основе сохранения творческого потенциала при старении, на данный момент остаются не изученными.

Важно отметить, что возрастные особенности таких субпроцессов, лежащих в основе креативности, как внимание, память, исполнительные функции в значительной степени исследованы в нейрофизиологических работах (Raz et al., 2004; Elderkin-Thompson et al., 2008; Davis et al., 2008; Spreng et al., 2010; Cardenas et al., 2011; Sala-Llonch et al., 2015). Эти данные в совокупности с информацией о специфике изменений активности мозга при старении (Karrasch et al., 2004; Lacombe, 2015) представляют благоприятную основу для понимания и интерпретации экспериментальных результатов, полученных при изучении нейрофизиологических основ креативности.

Отмеченное в психофизиологических исследованиях изменение базовых когнитивных процессов при старении позволяет предполагать различия в стратегиях решения креативных задач, которые будут ассоциированы со специфическими паттернами электрической активности мозга у пожилых и молодых испытуемых. В связи с известными данными о замедлении скорости психических процессов при старении (Salthouse, 2004) специальный интерес представляет изучение временной динамики изменений активности мозга при решении творческих задач. Являясь сложным процессом, креативное мышление базируется на таких когнитивных процессах как память, воображение, селекция информации и когнитивный контроль (Dietrich, 2004; Abraham, Bubic, 2015). Согласно современным представлениям в области психофизиологии творческого мышления креативный процесс можно разбить на последовательность стадий, где одни процессы с одной мозговой локализацией сменяют другие процессы с другой локализацией. В совокупности, эти данные литературы обуславливают перспективность изучения не только топографии задействованных в творческом мышлении областей мозга, но и последовательности их включения в креативный процесс. Наиболее часто отмечаемое при старении нарушение процессов рабочей и эпизодической памяти при относительной сохранности способности к селекции информации (Jennings et al., 2007; Gamboz et al., 2010; Williams et al., 2016) позволяет сделать предварительное допущение, что эффективные селективные

процессы могут использоваться в качестве резерва для поддержания продуктивности творческой деятельности.

Целью исследования было изучение временной динамики спектральных характеристик и корковой локализации осцилляторных ответов при решении вербальной дивергентной задачи и выявление факторов, ассоциированных с эффективностью дивергентного мышления, у ментально здоровых молодых и пожилых испытуемых.

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

1. Исследовать частотно-временные особенности осцилляторных реакций на начальном, среднем и завершающем этапах выполнения дивергентной задачи в зависимости от возраста и уровня оригинальности решений.
2. Исследовать локализацию источников данных эффектов с помощью sLORETA.
3. Проанализировать вклад когнитивного контроля, интеллекта и склонности к поиску в оригинальность креативных идей у молодых и пожилых испытуемых.

Научная новизна

Впервые показано, что частотно-пространственная организация осцилляторной активности мозга отличается у молодых и пожилых испытуемых на различных этапах решения вербальной дивергентной задачи.

Впервые установлено, что на первой секунде решения задачи десинхронизация тета ритма в ответ на предъявление задания была более слабой у пожилых по сравнению с молодыми испытуемыми с локализацией эффекта в нижней фронтальной извилине и правых фронто-темпоральных областях. На последующем этапе поиска решения задачи выявлены возрастные различия на частоте бета 1 ритма. Вызванная решением задачи десинхронизация бета 1 ритма была более выражена у пожилых по сравнению с молодыми испытуемыми и локализовалась в моторной и премоторной коре. На заключительном этапе, в последнюю секунду перед сообщением решения, у пожилых по сравнению с молодыми людьми вызванная синхронизация осцилляторной активности мозга была выше на частоте тета диапазона в передней цингулярной извилине и ниже на

частотах широкого бета диапазона в множественных областях задних корковых отделов мозга.

Впервые выявлены характеристики ЭЭГ активности мозга, ассоциированные с оригинальностью решений у пожилых испытуемых. Во временном интервале 400-600 мс после предъявления задачи уменьшение десинхронизации альфа 3 ритма правого полушария было связано с увеличением оригинальности идей. На продолжительном этапе поиска решения задачи у пожилых испытуемых с высокой оригинальностью решений по сравнению с другими группами испытуемых была выше глобальная вызванная синхронизация альфа 1 ритма.

Впервые обнаружено, что положительными предикторами оригинальности решений дивергентной задачи у молодых испытуемых является большое количество ошибок при разрешении конфликта (т.е. низкий когнитивный контроль). В отличие от этого, у пожилых испытуемых данный показатель является отрицательным предиктором для оригинальности решений, в то же время у них выявлено положительное значение высокого уровня интеллекта и мотивации к исследовательской активности.

Теоретическая и научно-практическая ценность работы

Работа посвящена актуальной проблеме изучения психофизиологических механизмов, обеспечивающих сохранность эффективного дивергентного мышления при физиологическом старении. Исследование выполнено на стыке нейрофизиологии, психологии и геронтологии.

Теоретическое значение работы состоит в расширении знаний о реорганизации частотно-пространственной активности мозга в процессе решения креативных задач и ее роли в реализации эффективного дивергентного мышления при успешном ментальном старении. Результаты исследования делают вклад в понимание нейрофизиологических механизмов, которые позволяют поддерживать продуктивное творческое мышление в пожилом возрасте. Исследование особенностей осцилляторной активности мозга, опосредующей творческое мышление, при его сопоставимой эффективности у молодых и пожилых людей вносит вклад в понимание стратегий решения задач, используемых данными возрастными группами.

Полученные данные, раскрывающие нейрофизиологические основы успешного ментального старения, имеют значение для понимания и разработки методов коррекции когнитивного дефицита пожилого возраста.

Методология и методы исследования

Исследование проведено в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины» (НИИФФМ) в соответствии с принципами Хельсинской декларации и было одобрено решением этического комитета НИИФФМ.

В методологическом отношении для изучения нейрофизиологических механизмов креативного мышления у молодых и пожилых испытуемых применялись широко используемые в зарубежных и отечественных исследованиях методы многоканальной регистрации и анализа электрической активности мозга и стандартизированные нейропсихологические тесты.

Для решения поставленных задач во время выполнения теста дивергентного мышления регистрировалась многоканальная ЭЭГ с последующим расчетом показателей вызванной решением экспериментальной дивергентной задачи синхронизации/десинхронизации мощности ЭЭГ и определением локализации областей возрастных различий в активности мозга методом sLORETA. Обработка ЭЭГ данных осуществлялась с помощью программных пакетов MATLAB (EEGLAB), sLORETA. Статистическую обработку данных проводили с использованием STATISTICA 8, 10 (StatSoft, USA) и sLORETA.

Положения, выносимые на защиту:

1. С точки зрения различий между пожилыми и молодыми людьми выявлена особая значимость интервала 400-600 мс после предъявления задачи, который характеризуется возрастными различиями в уровне тета десинхронизации и является заключительным этапом высокой альфа 3 десинхронизации в старшей возрастной группе. Локализация возрастных различий выявлена в областях, относящихся к семантической нейронной сети, связанной с процессами первичной актуализации ассоциаций.

2. На последующем этапе поиска решения задачи у пожилых людей по сравнению с молодыми сильнее выражена десинхронизация бета 1 ритма в

центральных областях соматосенсорной сети мозга, ассоциированной с представлением воображаемых действий. Также на этом этапе выявлены возрастные различия, опосредованные уровнем оригинальности, которые заключаются в более высокой глобальной синхронизации альфа 1 ритма у пожилых лиц с высокой оригинальностью по сравнению с остальными испытуемыми.

3. На последней секунде решения задачи у людей старшего возраста вызванная синхронизация тета ритма выше в передней цингулярной извилине, входящей в исполнительную сеть мозга, связанную с когнитивным контролем во время оценки созданной креативной идеи. Показатели бета ритма у пожилых лиц ниже в задних отделах мозга, входящих в дефолт и связанную с сенсорной интеграцией системы, ассоциированные с заключительной интеграцией информации; специфика данных возрастных различий отражается в положительной корреляции уровня синхронизации бета 2 ритма в области предклинья с уровнем оригинальности решений только у молодых испытуемых.

4. В процессе успешного ментального старения при отсутствии снижения оригинальности решений вербальной творческой задачи пожилые решают задачи быстрее и оценивают их как более легкие по сравнению с молодыми лицами, что свидетельствует о разных стратегиях обработки информации и находит отражение в специфических временных паттернах изменений активности мозга, преимущественно на частотах тета и бета ритмов.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность полученных в исследовании результатов обеспечивается проведением экспериментальных тестов в соответствии с принятыми стандартами и достаточным количеством объектов исследования, что дало возможность получить статистически значимые различия между молодыми и пожилыми испытуемыми, а также отражением основных результатов диссертационного исследования в статьях, опубликованных в рецензируемых научных журналах.

По теме диссертации было опубликовано 8 работ, из них 4 статьи в рецензируемых отечественных журналах, входящих в список ВАК РФ, и 4 тезисов на российских и международных конференциях. Полученные результаты были представлены и обсуждены на 54-й Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» (г. Новосибирск, 2016),

Международном конгрессе «Нейронаука для медицины и психологии» (г. Судак, 2016, 2017), XXIII съезде Физиологического общества имени И.П. Павлова (г. Воронеж, 2017).

Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на межлабораторном семинаре НИИФФМ.

Объем и структура диссертации

Диссертация изложена на 147 страницах текста, включает 18 рисунков и 2 таблицы, состоит из введения, обзора литературы, описания методов исследования и условий постановки экспериментов, результатов собственных исследований, обсуждения, заключения, выводов и списка литературы, включающего 442 работы (из них 30 отечественных).

Личный вклад автора

Автором лично выполнены сбор и первичная обработка ЭЭГ данных с помощью «Neuroscan 4.4», EEGLAB, sLORETA, создание баз данных в программе STATISTICA, статистическая обработка ЭЭГ и психометрических показателей с использованием STATISTICA и sLORETA, научная интерпретация полученных результатов, публикация основных положений и выводов диссертации. Автор благодарит Е.П. Черемисину за контроль выполнения испытуемыми психометрической части исследования. Автор выражает признательность научному руководителю, д.б.н., профессору, заведующей лаборатории физиологии когнитивной деятельности Н.В. Вольф и д.б.н., заведующему лабораторией дифференциальной психофизиологии Г.Г. Князеву за помощь в организации исследования и сотрудничество при обсуждении данных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Испытуемые и организация исследования

В исследовании принимали участие студенты, аспиранты, ученые и административно-технический персонал научно-исследовательских институтов и университетов г. Новосибирска. Все испытуемые учились или работали на момент исследования. Все испытуемые были праворукими согласно опроснику Аннет (Annett, 1970) и имели нормальное или скорректированное до нормального зрение.

Для участия в исследовании не допускались люди с неврологическими, психическими и серьезными соматическими заболеваниями.

В исследовании начального этапа решения дивергентной задачи участвовали 160 человек младшей возрастной группы (МВГ, N=80, средний возраст 22.6; SD=3 года) и старшей возрастной группы (СВГ, N=80, средний возраст 63.4; SD=6.7 года). В связи с продолжением исследования при анализе среднего и завершающего этапов решения задания исследуемая группа была увеличена на 19 человек - до 179 испытуемых, из них 89 человек МВГ (средний возраст 22.1; SD=3.09 года) и 90 человек СВГ (средний возраст 64.9; SD=6.49 года).

Исследование состояло из двух частей – выполнения теста на креативность с параллельной регистрацией ЭЭГ и выполнения компьютеризированных тестов и заполнения личностных опросников.

Экспериментальное исследование вербального дивергентного мышления

Тестирование вербальной креативности

Вербальную креативность исследовали с помощью теста дивергентного мышления Гилфорда «Необычное использование предмета» (Guilford et al., 1978). В качестве стимулов использовали 5 слов (кирпич, карандаш, бумага, скрепка, банка), которые предъявляли в случайном порядке, каждое по 6 раз (Разумникова, 2003; Разумникова, 2016).

Оригинальность решения дивергентных задач рассчитывали в баллах как 1/N, где N – число аналогичных ответов в компьютеризированной базе данных (Разумникова, 2003), составленной на основе совокупных ответов 179 испытуемых обеих возрастных групп. Для каждого испытуемого рассчитывали среднюю оригинальность ответов. По этому показателю все испытуемые были разделены на 2 группы относительно медианы: испытуемые с высокой (ВО) и низкой (НО) оригинальностью. Скорость решения задачи определялась по времени от предъявления стимульного слова до нажатия на клавиши, свидетельствующего о нахождении ответа. После окончания эксперимента испытуемые на аналоговых шкалах длиной 50 мм ставили метки, соответствующие их оценке интереса и

трудности задания, где “0” соответствовал минимальному, а “50” – максимальному значению показателя.

Во время выполнения заданий у испытуемых регистрировали ЭЭГ.

Схема эксперимента с регистрацией ЭЭГ

Во время записи ЭЭГ испытуемые находились в звукозаглушенной камере. Испытуемых просили сидеть расслабленно, избегать движения глазами и моргания.

ЭЭГ сессия начиналась с шестиминутной записи фоновой ЭЭГ с закрытыми и затем с открытыми глазами. Каждая проба начиналась с пятисекундного предъявления точки фиксации взгляда в центре монитора. Далее в центре экрана предъявляли слово-стимул, которое сохранялось на экране до ответа испытуемого. Когда испытуемый решал задачу, он нажимал на клавиши, индуцирующие появление на экране слова «Ответ», и назвал придуманное необычное использование предмета. По истечении 15 с на экране автоматически появлялось слово «Ответ», что стимулировало испытуемого к нажатию на клавиши и сообщению ответа. Все ответы участников были записаны экспериментатором. Предъявленное на 10 с слово «Ответ» сменялось крестиком в центре экрана (время между пробами, 10 с). Далее начиналась следующая проба.

Запись и обработка ЭЭГ

Регистрацию ЭЭГ в 52 отведениях согласно модифицированной системе 10–20 (American Electroencephalographic Society, 1991) выполняли с использованием комплекса «Neuroscan 4.4» (США). В качестве референтного использовали объединенный ушной электрод. Сопротивление электродов не превышало 5 kΩ. Аналого-цифровое преобразование сигнала проводили с частотой дискретизации 1000 Гц. При записи ЭЭГ регистрировали также электроокулограмму, запись которой была использована для удаления глазодвигательных артефактов. Оставшиеся артефакты удаляли с помощью метода независимых компонент с использованием пакета EEGLAB (http://www.sccn.ucsd.edu/eeglab/).

Анализ ЭЭГ данных

Решение креативной задачи начинается с генерации креативных идей, которые включают первичные ассоциативные процессы длительностью 200-800 мс (Qiu et al., 2008; Zhao et al., 2011); на заключительном этапе происходят процессы, связанные с усовершенствованием и принятием креативной идеи, которые

занимают около 600 мс (Kröger et al., 2012; Rutter et al., 2012; Kröger et al., 2013). Исходя из этих фактов, мы проанализировали начальный и завершающий этапы решения дивергентной задачи отдельно, поскольку знание данных субпроцессов способствует трактовке полученных результатов. Средний этап содержит процесс преобразования информации, и его трудно связать с отдельными субпроцессами креативного мышления. Но мы предположили наличие различий между молодыми и пожилыми испытуемыми на этом этапе, которые будут отражать различия в глобальных стратегиях решения задачи.

На начальном и завершающем этапах решения задачи в качестве предстимульного использовали интервал 1500 мс до предъявления задания, на среднем этапе - 2000 мс (Рисунок 1).

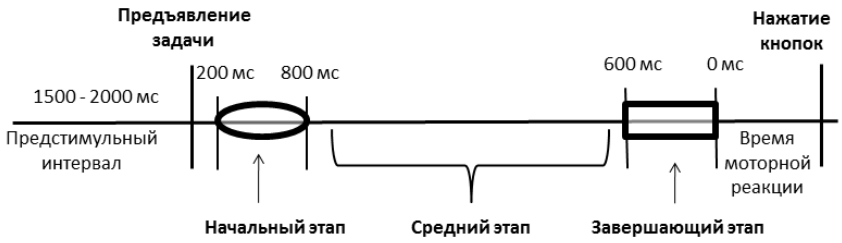

Рисунок 1. Предстимульный и тестовые интервалы, выделенные для анализа. Начальный этап, от 200 до 800 мс после предъявления задачи; средний этап, от 800 мс до начала завершающего этапа; завершающий этап, 600 мс перед нулевой точкой отсчета, которая отстояла от нажатия на кнопку на время индивидуальной моторной реакции. Индивидуальная сенсомоторная реакция рассчитывалась как время средней сенсомоторной реакции для младшей и старшей возрастных групп с индивидуальной коррекцией на основе моторной реакции испытуемого, измеренной в тесте ANT.

Для анализа завершающего и среднего этапов решения задачи были выбраны только те записи ЭЭГ, в которых испытуемые дали ответ до истечения отпущенного на решение задачи времени, т.е. в рассмотрение брали случаи завершенной генерации решения до его стимуляции надписью «Ответ». В анализ были взяты ЭЭГ тех испытуемых, у которых было как минимум 15 свободных от артефактов эпох ЭЭГ. Количество эпох не отличалось в разных возрастных группах (среднее количество эпох =20.7 в МВГ и М=20.8 в СВГ). Из СВГ было исключено 6 и из МВГ 7 испытуемых.

Установление границ частотных диапазонов

Учитывая связанное с возрастом смещение пика альфа-активности в область низких частот, записанное в состоянии покоя с закрытыми глазами (Clark et al., 2004), частотные диапазоны для всех видов анализа определяли относительно

индивидуального пика частоты альфа ритма (ИПЧА) в париетально-окципитальных отведениях: тета ритм ((ИПЧА -6 Гц) – (ИПЧА -4 Гц)), альфа 1 ((ИПЧА -4 Гц) – (ИПЧА -2 Гц)), альфа 2 ((ИПЧА -2 Гц) – ИПЧА), альфа 3 (ИПЧА – (ИПЧА +2 Гц)), бета 1 ((ИПЧА +2 Гц) – 20 Гц) и бета 2 (20 Гц – 30 Гц) (Doppelmayr et al., 1998).

Анализ показателей мощности ЭЭГ

Анализ возрастных различий в осцилляторной активности мозга на различных этапах решения вербальной дивергентной задачи проводили с помощью анализа реактивности мощности ЭЭГ, которую рассчитывали отдельно в каждом частотном диапазоне как логарифм отношения значений мощности в тестовом и предстимульном интервалах (обозначается в дБ, или $10*\log_{10}(\mu V^2/Hz)$). Отрицательные значения реактивности мощности соответствуют меньшей мощности в тестовом по сравнению с предстимульным интервалом (десинхронизация, event-related desynchronization - ERD), положительные значения – большей мощности в постстимульном интервале по сравнению с предстимульным (синхронизация, event-related synchronization - ERS) (Pfurtscheller, Lopes da Silva, 1999).

Для частотно-временного анализа на начальном и завершающем этапах решения задачи применяли метод расчета, реализованный с помощью временной функции пакета EEGLAB (ERSP – event-related spectral perturbations (Makeig, 1993; Delorme, Makeig, 2004)). Начальный этап решения задачи был разбит на интервалы: 200-400, 400-600, 600-800 мс после предъявления задачи, а завершающий этап - на интервалы от -600 до -300 и от -300 до нулевой точки отсчета (Рисунок 1).

Учитывая, что продолжительность решения креативной задачи не предопределялась схемой эксперимента и была различной для каждого испытуемого и каждой пробы, мы рассмотрели средний временной интервал, ассоциированный с поиском решения задачи, без учета временной динамики. Среднюю реактивность мощности ЭЭГ на промежуточном этапе решения задачи рассчитывали с помощью быстрого преобразования Фурье.

Исследование влияния большого количества независимых переменных побудило нас объединить электроды в группы. Для сохранения информации о передне-заднем градиенте, роли темпоральных областей и латеральности

полученные данные реактивности мощности ЭЭГ усредняли для 4-х областей левого полушария: ФЦ, фронтально-центральная (FP1+AF3+F7+F5+F3+F1+FC5 +FC3+FC1), ЦП, центрально-париетальная (C5+C3+C1+CP5+CP3+CP1), ПО, париетально-окципитальная (P7+P5+P3+P1+PO7+PO5+PO3+O1), Т, темпоральная (FT7+T7+TP7) и таких же областей правого.

Анализ плотности источников тока в sLORETA

Для расчета стандартизированных значений плотности тока, которые наилучшим образом объясняют распределение потенциалов, регистрируемых на скальпе, использовали sLORETA (standardized low resolution brain electromagnetic tomography) (Pascual-Marqui, 2002). Сначала рассчитывался динамический кросс-спектр с использованием непрерывного окна Гаусса шириной 440 мс. Далее для каждого из 6239 вокселей рассчитывали плотность тока в анализируемых индивидуальных частотных диапазонах. Реактивность плотности источников тока для каждого вокселя рассчитывалась аналогично реактивности спектральной мощности.

Психометрическое тестирование

Для исследования возрастной специфики вклада в креативность психометрических показателей, связанных с исполнительными функциями и мотивацией к исследовательской активности, у молодых и пожилых испытуемых определяли показатели интеллекта (тест Айзенка (Айзенк, 1972)), исполнительного контроля, измеренного по количеству времени и по количеству ошибок во время разрешения конфликта (Тест систем внимания, Attention network Test, (Fan et al., 2002)), мотивацию к поиску и исследовательскому поведению (шкала «Поиск» из Личностного опросника аффективной нейронауки, Affective Neuroscience Personality Scales, (Davis et al., 2003)).

Статистический анализ данных

Статистическую обработку **спектральной мощности ЭЭГ** проводили с помощью ANOVA с коррекцией, где необходимо, статистической значимости по методу Гринхауза-Гейссера. Анализ взаимодействий проводили с помощью критерия Фишера и метода плановых контрастов с уровнем статистической значимости $p \leq 0.01$. При исследовании корреляции между ЭЭГ и психометрическими показателями использовали метод Пирсона, для коррекции

множественных сравнений применяли контроль ложных эффектов (False Discovery Rate, FDR) (Benjamini, Hochberg, 1995).

Статистический анализ **данных локализации источников тока** проводили в пакете sLORETA с помощью метода статистического непараметрического картирования (statistical non-parametrical mapping (SnPM)) (Pascual-Marqui, 2002) с использованием 5000 рандомизаций. Для каждого из трех интервалов анализа были рассчитаны 1) контраст реактивности плотности источников тока в СВГ и МВГ для локализации возрастных различий, которые были выявлены с помощью дисперсионного анализа частотно-временных характеристик ЭЭГ; 2) коэффициенты корреляции между значениями плотности источников тока и такими показателями как оригинальность и уровень образования. Также было проведено сравнение возрастных групп по показателям плотности источников тока в предстимульном интервале.

Статистический анализ **психометрических показателей** проводили с помощью ANOVA и регрессионного анализа с пошаговым включением переменных в уравнение в программе STATISTICA. Поскольку не у всех испытуемых были собраны психометрические данные в полном объеме, регрессионный анализ проведен на выборке, в которую вошло 55 испытуемых МВГ и 75 - СВГ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Возрастные различия показателях решения задачи

Возрастные группы не отличались по показателю оригинальности решений дивергентной задачи и интересу к заданию. Пожилые испытуемые по сравнению с молодыми быстрее выполняли задание ($p<0.0001$) и субъективно оценивали его как более легкое ($p<0.001$).

Таким образом, успешное ментальное старение характеризуется высокой эффективностью решения вербальной дивергентной задачи, сопоставимой с показателями молодых людей.

Возрастные различия ЭЭГ данных

В рамках автореферата мы рассмотрим статистически значимые опосредованные возрастом различия в осцилляторной активности мозга у молодых

и пожилых испытуемых в предстимульный интервал и на трех этапах решения дивергентной задачи.

Возрастные различия ЭЭГ активности в предстимульном интервале

Для анализа возрастных различий в предстимульном интервале был проведен ANOVA мощности ЭЭГ с выделением факторов: ВОЗРАСТ (МВГ, СВГ) * ОРИГИНАЛЬНОСТЬ (ВО, НО) *ДИАПАЗОН (тета, альфа 1, альфа 2, альфа 3, бета 1, бета 2)* ОБЛАСТЬ (ФЦ, ЦП, ПО, Т) * ЛАТЕРАЛЬНОСТЬ (правое, левое полушарие). Выявлены возрастные различия в частотно-пространственной организации мощности ЭЭГ (ДИАПАЗОН * ОБЛАСТЬ * ВОЗРАСТ ($F(15, 2445)=8.635$; $p<0.0001$), обусловленные более высокой мощностью бета 1 ритма в ФЦ, ЦП, Т областях ($p<0.01$) и бета 2 ритма в ФЦ и ЦП областях ($p<0.01$) в СВГ по сравнению с МВГ. За счет большей чувствительности sLORETA к локальным эффектам (Friston, 1997) удалось выявить пространственную локализацию возрастных различий в частотных характеристиках ЭЭГ. Испытуемые СВГ по сравнению с МВГ имели более низкие значения плотности источников тока с максимальными различиями в передней цингулярной и медиальной фронтальной извилинах билатерально в тета ритме ($p<0.0003$), а также более высокую плотность источников тока с локализацией наибольшего эффекта в левой префронтальной коре в бета 1 ($p<0.001$) и бета 2 ($p<0.01$) ритмах.

Наши результаты согласуются с современными данными об уменьшении медленноволновой корковой активности наряду с увеличением мощности быстрых ритмов при физиологическом старении (Babiloni et al., 2006; Cummins, Finnigan, 2007; Gaál et al., 2010; Leirer et al., 2011; Вольф, Глухих, 2011; Vlahou et al., 2014).

Возрастные различия ЭЭГ данных на начальном этапе решения вербальной дивергентной задачи

Реактивность спектральной мощности

Был проведен ANOVA реактивности мощности ЭЭГ (ERSP) с выделением факторов: ВОЗРАСТ (МВГ, СВГ) * ОРИГИНАЛЬНОСТЬ (ВО, НО) * ВРЕМЯ (3 интервала: 200-400, 400-600 и 600-800 мс после предъявления задачи) * ДИАПАЗОН (тета, альфа 1, альфа 2, альфа 3, бета 1, бета 2) * ОБЛАСТЬ (ФЦ, ЦП, ПО, Т) * ЛАТЕРАЛЬНОСТЬ (правое, левое полушарие).

Возрастные различия в связанных с выполнением творческого задания изменениях реактивности мощности на начальном этапе были обнаружены только в тета и альфа 3 частотных диапазонах (ДИАПАЗОН * ВРЕМЯ * ОБЛАСТЬ * ВОЗРАСТ ($F(30, 4680)=1.86$; $p<0.03$). В тета диапазоне для ФЦ и ЦП областей выявлены возрастные различия во временной динамике. Конечный уровень десинхронизации был достигнут в 400-600 мс в МВГ и превышал уровень десинхронизации в этот временной интервал в СВГ. Для СВГ также характерна стабильность фронтально-париетального градиента на всем временном интервале 200-800 мс, тогда как в МВГ он выявлялся только во временном интервале 200-400 мс (Рисунок 2).

В альфа 3 частотном диапазоне выявлены статистически значимые возрастные различия в изменениях десинхронизации в ПО области с временного интервала 400-600 мс по интервал 600-800 мс, в основе которых лежит уменьшение десинхронизации в ПО области в 600-800 мс по сравнению с более ранними временными отрезками только в СВГ (Рисунок 2). В СВГ в альфа 3 частотном диапазоне значения ERSP в ФЦ и ЦП областях правого полушария в 400-600 мс положительно коррелировали с показателями оригинальности ($r=0.37$ $p<0.001$; и $r=0.39$ $p<0.001$ соответственно).

Роль меньшей десинхронизации альфа ритма у пожилых испытуемых по сравнению с молодыми может быть ассоциирована с большим торможением обработки иррелевантной информации с целью освободить нейронные ресурсы и поддержать значимые для выполнения задания процессы (Händel et al., 2011; Bonnefond, Jensen, 2012; Scheeringa et al., 2012; Payne, Sekuler, 2014; Schwab et al., 2014; Rominger et al., 2018).

Реактивность плотности источников тока

С помощью sLORETA в СВГ по сравнению с МВГ выявлены большие значения реактивности источников плотности тока в тета ритме, наиболее выраженные ($p<0.0008$) в таких структурах левого полушария как задняя часть нижней фронтальной извилины, прецентральная извилина, инсула, а также в структурах правого полушария: передней части нижней фронтальной извилины, верхней темпоральной извилине (Рисунок 2). Эти области отвечают за осуществление контролируемого извлечения семантической информации (Binder, Desai, 2011; Whitney et al., 2012; Jefferies, 2013) и актуализации отдаленных

семантических связей (Federmeier, Kutas, 1999; Forgács et al., 2014) соответственно. Известная связь мощности тета ритма с процессами рабочей памяти и когнитивного контроля (Pastötter et.al., 2013; Cohen, 2014; Van Driel et al., 2015) может свидетельствовать о более раннем привлечении контролируемых семантических процессов при старении.

В совокупности, результаты в тета и альфа 3 ритмах подчеркивают различия процессов, происходящих в интервале 400-600 мс, у молодых и пожилых испытуемых. Можно предполагать, что пожилые люди больше привлекают селективные нисходящие процессы (top-down регуляция), имеющие более тесную связь с эффективностью дивергентного мышления (Benedek et al., 2011; Abraham, 2014; Benedek et al., 2014B), уже на этапе формирования первичных ассоциаций, что может лежать в основе более быстрого решения задачи людьми старшего возраста.

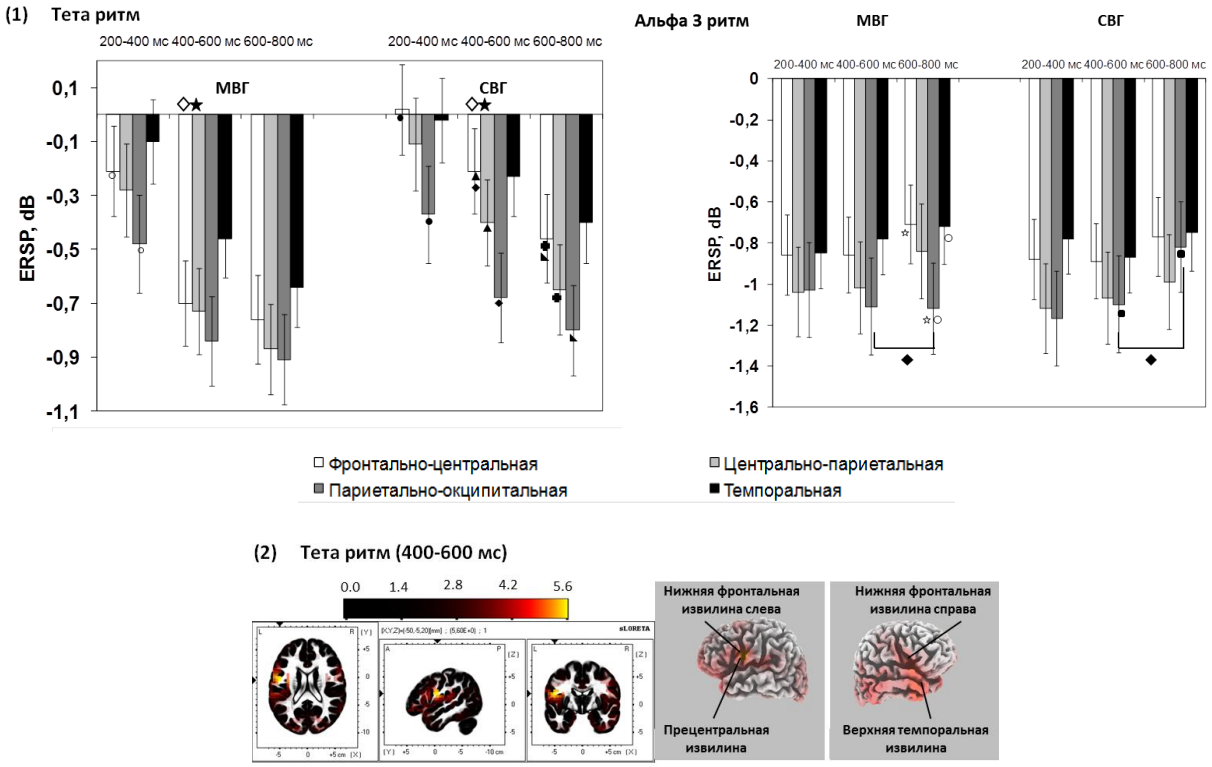

Рисунок 2. ЭЭГ результаты на начальном этапе решения задачи. (1) Средние значения ERSP (M±SE) в тета и альфа 3 ритмах у молодых и пожилых испытуемых. (2) Возрастные различия в локализации реактивности плотности источников тока в тета ритме. Одинаковыми значками обозначены статистически значимые различия между соответствующими показателями (p<0.01). Цветом обозначены области, в которых плотность источников тока в старшей возрастной группе больше по сравнению с аналогичными показателями в младшей.

Возрастные различия ЭЭГ данных на среднем этапе решения вербальной дивергентной задачи

Реактивность спектральной мощности

Был проведен ANOVA реактивности мощности ЭЭГ с выделением факторов: ВОЗРАСТ (МВГ и СВГ) * ОРИГИНАЛЬНОСТЬ (ВО, НО) *ДИАПАЗОН (тета, альфа 1, альфа 2, альфа 3, бета 1, бета 2)* ОБЛАСТЬ (ФЦ, ЦП, ПО, Т) * ЛАТЕРАЛЬНОСТЬ (правое, левое полушарие).

Выявлено значимое взаимодействие ДИАПАЗОН * ОБЛАСТЬ * ВОЗРАСТ ($F(15, 2445)=3$; $p<0.001$), в основе которого лежит больший уровень десинхронизации бета 1 ритма в париетально-окципитальной области в СВГ по сравнению с МВГ ($p<0.01$) (Рисунок 3).

На частоте альфа 1 ритма влияние возраста на реактивность мощности было опосредовано уровнем оригинальности решений задачи (ДИАПАЗОН * ВОЗРАСТ * ОРИГИНАЛЬНОСТЬ ($F(5, 815)=3.46$; $p<0.009$). Синхронизация альфа 1 ритма у высокооригинальных пожилых испытуемых была выше, чем у высокооригинальных молодых и низкооригинальных пожилых людей (Рисунок 3). Синхронизацию альфа ритма ассоциируют с контролируемым длительным доступом к процессам долговременной памяти (Klimesch, 2012), который, вероятно, имеет большее значение для эффективности творческого мышления пожилых испытуемых на продолжительном временном интервале поиска решения задачи.

Реактивность плотности источников тока

В СВГ по сравнению с МВГ обнаружены меньшие значения реактивности плотности источников тока, наиболее сильные ($p<0.0003$) в прецентральной, постцентральной, цингулярной, медиальной и верхней фронтальных извилинах, парацентральной дольке (Рисунок 3). Важно отметить, что эти области относят к моторным и премоторным областям коры (Седов и др., 2015; Hanakawa et al., 2003; Dechent et al., 2004). Согласно целому ряду экспериментальных наблюдений, десинхронизация низкочастотного бета ритма в состоянии физического покоя наблюдается в связи с воображением конкретных действий (Васильев и др., 2016; Järveläinen et al., 2004; Neuper et al., 2006; Pineda, Hecht, 2009). Полученные результаты позволяют предполагать, что пожилые испытуемые в большей степени,

чем молодые, используют представления о действиях человека с предметом во время решения дивергентной задачи, связанной с поиском необычного использования предмета.

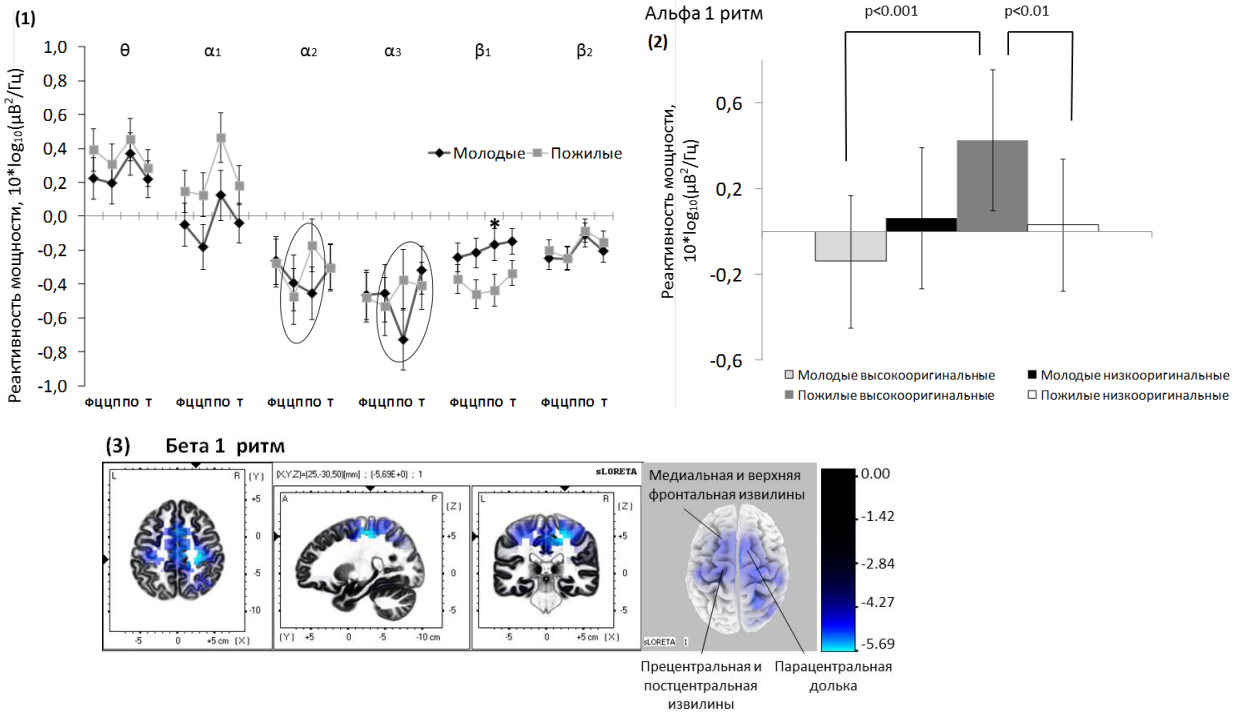

*Рисунок 3. ЭЭГ результаты на среднем этапе решения задачи. (1) Средние значения реактивности мощности (M±SE) у молодых и пожилых испытуемых (ФЦ – фронтально-центральная, ЦП – центрально-париетальная, ПО – париетально-окципитальная, Т – темпоральная области; * - p<0.01).(2)Средние значения реактивности мощности (M±SE) в альфа 1 ритме.(3)Возрастные различия в локализации реактивности плотности источников тока (цветом обозначены области, в которых плотность источников тока в старшей возрастной группе меньше по сравнению с аналогичными показателями в младшей).*

Возрастные различия ЭЭГ данных на завершающем этапе решения вербальной дивергентной задачи

Реактивность спектральной мощности

Был проведен ANOVA ERSP с выделением факторов: ВОЗРАСТ (МВГ и СВГ) * ОРИГИНАЛЬНОСТЬ (ВО, НО) *ДИАПАЗОН (тета, альфа 1, альфа 2, альфа 3, бета 1, бета 2)* ВРЕМЯ (2 интервала: от -600 до -300, от -300 до начала формирования моторного ответа) * ОБЛАСТЬ (ФЦ, ЦП, ПО, Т) * ЛАТЕРАЛЬНОСТЬ (правое, левое полушарие).

Различия в реактивности мощности в СВГ и МВГ на завершающем этапе решения задачи были обнаружены только на частотах тета и бета ритмов (ДИАПАЗОН* ОБЛАСТЬ* ВОЗРАСТ ($F(15, 2445)=2.9$; $p<0.003$) (Рисунок 4). В тета ритме выявлены возрастные различия в фронтально-париетальном градиенте, в основе которых лежат более высокие значения ERSP в ФЦ по сравнению с ПО областью только в СВГ ($p<0.0001$). В широком бета диапазоне для всех областей значения ERSP в МВГ были выше, чем в СВГ ($p<0.001$). Региональная специфика показана для бета 1 ритма, где возрастные различия в ЦП и ПО областях были более выражены, чем в ФЦ и Т областях ($p<0.0001$).

Реактивность плотности источников тока

Контраст реактивности плотности источников тока в тета ритме показал большие значения в СВГ по сравнению с МВГ, наиболее сильные ($p<0.001$) в передних областях, включая переднюю цингулярную извилину билатерально и правую среднюю лобную извилину (Рисунок 4). Генерация тета ритма в передней цингулярной коре наблюдается при выполнении задач, требующих нисходящего контроля (Wang et al., 2005), что позволяет предполагать больший вклад процессов когнитивного контроля у пожилых испытуемых во время оценки созданной креативной идеи.

Обсуждая значение возрастных различий в реактивности мощности ЭЭГ в ответ на решение задачи, необходимо отметить, что мощность ЭЭГ в состоянии покоя может быть предиктором последующих изменений, вызванных выполнением задания (Basar, 1998; Basar, 1999; Klimesch, 1999). Результаты дисперсионного анализа мощности/плотности источников тока в фоновом интервале и реактивности мощности/плотности источников тока на трех выделенных этапах решения дивергентной задачи продемонстрировали отличающиеся паттерны возрастных различий почти для всех эффектов. Только на завершающем этапе решения задачи согласно результатам sLORETA возрастные различия в тета ритме являются отражением таковых в предстимульном интервале. Таким образом, наше исследование показало, что мозг молодых и пожилых испытуемых может быть подготовлен к специфическому паттерну вызванной тета активности во время оценки креативной идеи через поддержание более высокой или низкой исходной мощности ритма.

В целом, обнаруженная на начальном и завершающем этапах решения задачи большая синхронизация (или меньшая десинхронизация) тета ритма у пожилых испытуемых в передних областях мозга отражает более контролируемый подход к выполнению дивергентного задания в старшей возрастной группе.

На заключительном этапе выявлена большая ERD бета 1 и бета 2 ритма в СВГ по сравнению с МВГ преимущественно в задних отделах мозга, максимально выраженная ($p<0.0003$) в задней части цингулярной извилины, предклинье, париетальной доле, а также в постцентральной извилине и парацентральной дольке (Рисунок 4). Как в бета 1, так и в бета 2 ритмах возрастные различия были широко представлены в окципитальных структурах: клине, веретенообразной и язычковой извилинах.

Синхронизацию на частоте бета ритма в париетально-окципитальных областях связывают с обеспечением внутреннего внимания и интеграцией информации (Donner et al., 2007; Donner, Siegel, 2011; Gola et al., 2012; Kamiński et al., 2012; Aissani et al., 2014; Göschl et al.. 2015), что позволяет предположить большую выраженность данных процессов у молодых по сравнению с пожилыми испытуемыми. Пространственный паттерн возрастных различий подтверждает и конкретизирует данное предположение. Задняя цингулярная кора и предклинье составляют задние узлы дефолт системы мозга, которые обеспечивают внутренне направленное внимание (Mason et al., 2007; Leech, Sharp, 2014; Chen et al., 2015) и интегративные функции (Buckner et al., 2008; Andrews-Hanna et al., 2014) и совместно с окципитальными областями мозга, в которых также обнаружены возрастные различия в нашей работе, участвуют в сенсорной интеграции и реактивации во время воображения (Binder et al., 2009; Fink et al., 2014; Hall et al., 2014; Abraham, Bubic, 2015). В целом, функциональное значение структур мозга, демонстрирующих возрастные различия в активности на частоте бета осцилляций, свидетельствует, что у молодых испытуемых в большей степени по сравнению с пожилыми может быть выражена концентрация внутреннего внимания, призванная обеспечить процессы удержания и заключительной интеграции сложных мультимодальных образов идеи о необычном использовании предмета. Позитивная корреляция между оригинальностью решений и синхронизацией бета 2 ритма в области предклинья у молодых испытуемых ($r>0.38$; $p<0.05$) (Рисунок 4), при ее

отсутствии у пожилых, свидетельствует о важности процессов, связанных с заключительной интеграцией информации, для достижения высокой оригинальности только у молодых лиц.

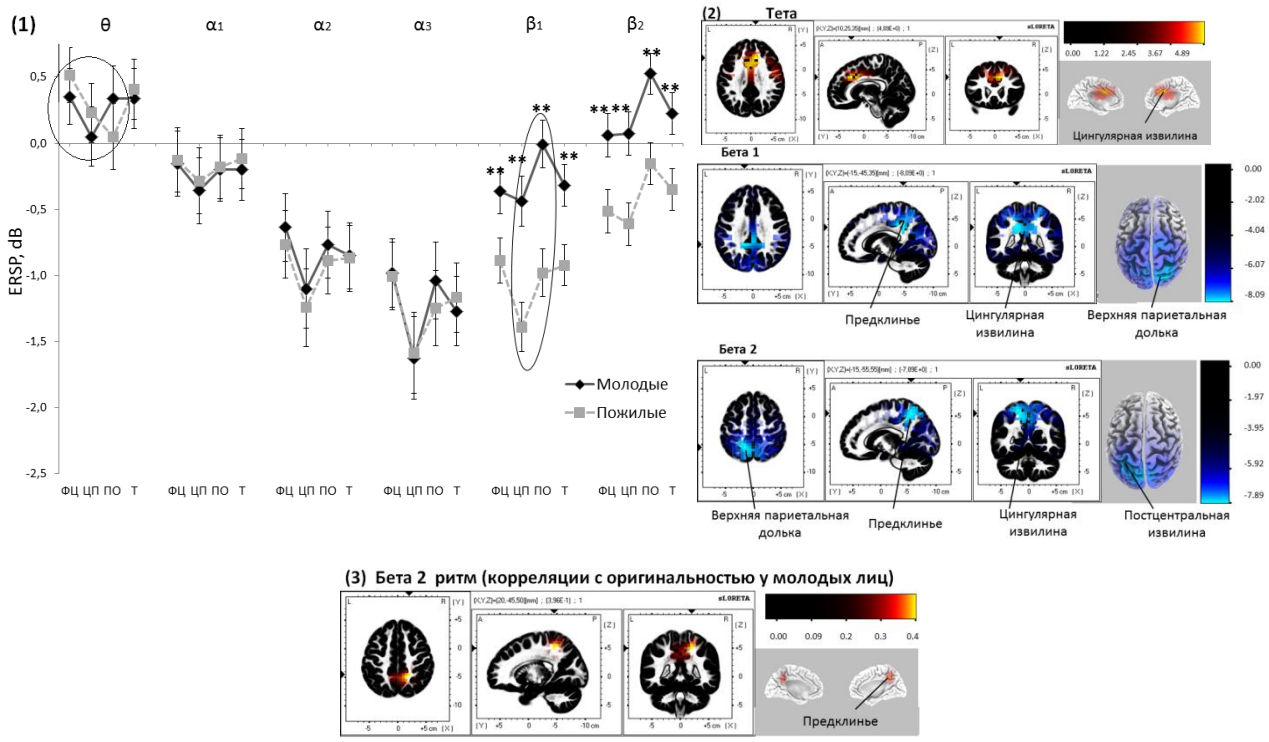

*Рисунок 4. ЭЭГ результаты на завершающем этапе решения задачи. (1) Средние значения ERSP (M±SE) у молодых и пожилых испытуемых (ФЦ – фронтально-центральная, ЦП – центрально-париетальная, ПО – париетально-окципитальная, Т – темпоральная области; ** - p<0.001). (2)Возрастные различия в локализации реактивности плотности источников тока в тета, бета 1, 2 ритмах (оттенки желтого/синего цвета показывают области, в которых плотность источников тока в старшей возрастной группе больше/меньше по сравнению с аналогичными показателями в младшей). (3) Корреляционные связи между плотностью источников тока в бета 2 ритме и баллами по оригинальности у молодых испытуемых (цветом обозначен размер положительной корреляции).*

Регрессионный анализ предикторов оригинальности

В МВГ наилучшая модель описания оригинальности позволяла описать 12% дисперсии. Статистически значимый вклад вносил только показатель количества ошибок при разрешении конфликта: повышение оригинальности сопровождалось большим количеством ошибок. В СВГ наилучшая модель объясняла 23% разнообразия. Лучшим позитивным предиктором оригинальности в СВГ являлся показатель IQ. Статистически значимый вклад в оригинальность вносил индикатор исполнительного контроля, измеренный по количеству ошибок. Однако, в отличие от корреляции у молодых испытуемых, более высокому уровню оригинальности

соответствовало меньшее количество ошибок при разрешении конфликта. Кроме того, достоверный слабый самостоятельный вклад в объяснение зависимой переменной в СВГ вносил предиктор «Поиск» (Рисунок 5).

Таким образом, сделанное на основе анализа временной динамики ЭЭГ при выполнении вербальной дивергентной задачи предположение о более контролируемом подходе к выполнению задания пожилыми испытуемыми подтверждается данными регрессионного анализа вклада точности исполнительного контроля в оригинальность решения: отрицательного - у молодых и положительного - у пожилых испытуемых.

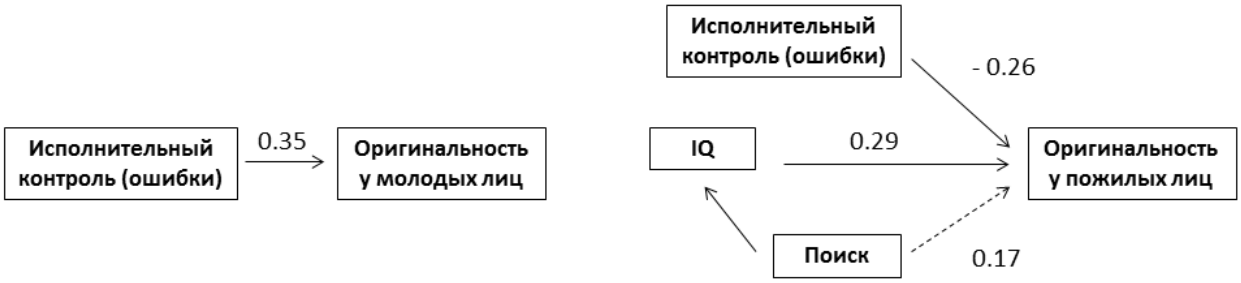

Рисунок 5. Схематичное изображение влияния предикторов на оригинальность решений вербальной дивергентной задачи согласно полученным статистически значимым регрессионным моделям. Цифрами обозначены значения бета-коэффициентов, сплошными линиями – статистически значимые корреляции между переменными.

ВЫВОДЫ

1. Обнаружено, что на этапе первичной актуализации ассоциаций в интервале 400-600 мс после предъявления задачи у пожилых испытуемых по сравнению с молодыми наблюдается меньшая десинхронизация тета ритма в областях, относящихся к нейронной сети семантического контроля.

2. У пожилых испытуемых интервал 400-600 мс после предъявления задачи является также заключительным интервалом высокого уровня десинхронизации альфа 3 ритма, которая сохраняется у молодых испытуемых до 800 мс.

3. На последующем этапе поиска решения задачи у пожилых по сравнению с молодыми более выражена десинхронизация бета 1 ритма в областях соматосенсорной сети мозга.

4. Возрастные различия, связанные с уровнем оригинальности, заключаются в более высокой глобальной синхронизации альфа 1 ритма у пожилых лиц с высокой оригинальностью решений по сравнению с остальными испытуемыми.

5. На заключительном этапе оценки идеи (последняя секунда решения задачи) у пожилых по сравнению с молодыми испытуемыми наблюдаются более выраженная вызванная синхронизация тета ритма в передней цингулярной извилине, входящей в исполнительную сеть мозга, и десинхронизация бета ритма в задних отделах мозга, входящих в дефолт и связанную с сенсорной интеграцией системы.

6. Точность исполнительного контроля вносит положительный вклад в уровень оригинальности у пожилых и отрицательный – у молодых испытуемых.

7. Выявленные у молодых и пожилых испытуемых дифференцированные паттерны ЭЭГ активности и разная скорость выполнения задания при сопоставимом уровне оригинальности свидетельствуют о возрастных различиях в стратегиях решения дивергентной задачи.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в рецензируемых журналах

Приводнова Е.Ю., Вольф Н.В. Особенности временной динамики осцилляторной активности мозга при решении творческой задачи у молодых и пожилых испытуемых // Физиология человека. 2016. Т. 42. № 5, С. 5-12.

Приводнова Е.Ю., Вольф Н.В. Вклад интеллекта и исполнительного контроля в показатель вербальной креативности при физиологическом старении // Сибирский медицинский научный журнал. 2017. Т. 37. № 2. С. 55-61.

Приводнова Е.Ю., Вольф Н.В., Князев Г.Г. Особенности осцилляторной активности мозга на завершающем этапе решения дивергентной задачи у молодых и пожилых испытуемых // Физиология человека. 2017. Т. 43. № 3. С. 5-12.

Приводнова Е.Ю., Вольф Н.В. Топографические особенности тета активности у молодых и пожилых испытуемых на начальном этапе решения креативной задачи: sLORETA анализ // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2018. Т. 68. № 3. С. 1-9.

Материалы конференций, конгрессов и сборники научных трудов

Возрастные различия в осцилляторной активности мозга на начальном этапе решения дивергентной задачи / **Приводнова Е.Ю.** // Материалы 54-й

международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» (МНСК–2016: биология). Новосибирск. 2016. С. 83.

Альфа-частотный диапазон ЭЭГ и оригинальность решения вербальной творческой задачи: возрастные различия / **Приводнова Е.Ю.**, Вольф Н.В. // Труды XII Конгресса «Нейронаука для медицины и психологии». Судак, Крым, 2016. С. 328-329.

Привлечение процессов контроля при оценке креативной идеи на заключительном этапе решения дивергентной задачи: различия между молодыми и пожилыми испытуемыми / **Приводнова Е.Ю.**, Вольф Н.В. // Труды XIII Конгресса «Нейронаука для медицины и психологии». Судак, Крым, 2017. С. 341-342.

Пространственная организация тета и бета активности у молодых и пожилых испытуемых на заключительном этапе решения креативной задачи / **Приводнова Е.Ю.**, Вольф Н.В. // Материалы XXIII съезда Физиологического общества имени И.П. Павлова. Воронеж, 2017. С. 1677-1678.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВО/НО – испытуемые с более/менее высокой оригинальностью решения вербальной дивергентной задачи

ИПЧА - индивидуальный пик частоты альфа-ритма

МВГ/СВГ - младшая/старшая возрастная группа

ПБ – поле Бродмана

ПО - париетально-окципитальная область

Т – темпоральная область

ФЦ - фронтально-центральная область

ЦП - центрально-париетальная область

ЭЭГ – электроэнцефалограмма

ERD/ ERS - event-related desynchronization/ synchronization ,

ERSP - event-related spectral perturbations

sLORETA - standardized low resolution brain electromagnetic tomography