Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Научно-исследовательский институт
физиологии и фундаментальной медицины»

На правах рукописи

Приводнова Евгения Юрьевна

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

19.00.02 – Психофизиология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель -
доктор биологических наук, профессор
Вольф Нина Валерьевна

Новосибирск
2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..…….….…..4

ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ …..……...…..13

1.1 Тест вербального дивергентного мышления как экспериментальная модель креативности…….….……13

1.2 Исследования креативности при старени…….….14

1.2.1 Изменение эффективности креативного мышления при старении…….…….…..14

1.2.2 Возможные основы сохранения творческого потенциала при старении…….…….……..……16

1.3 Нейрофизиология стадий креативного процесса…….…….……19

1.3.1 Подходы к исследованию стадий креативного процесса…….19

1.3.2 Выбор временных интервалов для анализа стадий творческого мышления в данном исследовании…….……25

1.4 Осцилляторная активность мозга, лежащая в основе креативного мышления…….……27

1.5 Структуры мозга, обеспечивающие креативное мышление, и их изменение при старении…….32

1.6 Нейрофизиологические модели старения мозга…….……..37

1.7 Выбор психометрических характеристик в качестве предикторов эффективности творческого мышления в данном исследовании…….41

ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ…….……45

2.1 Испытуемые и организация исследования……45

2.2 Экспериментальное исследование вербального дивергентного мышления…….……46

2.3 ЭЭГ исследование…….……...48

2.4 Психометрическое тестирование ……..……..52

2.5 Статистический анализ данных…….…..…..……53

ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ…….……...…….55

3.1 Возрастные различия в показателях решения дивергентной задачи……...……..55

3.2 Возрастные различия в ЭЭГ данных во время решения вербальной дивергентной задачи……...……56

3.2.1 Предстимульный временной интервал……...…….56

3.2.2 Начальный этап решения задачи……..…….…..…….59

3.2.3 Средний этап решения задачи…….…….…..……63

3.2.4 Завершающий этап решения задачи……..…….…..…66

3.3. Психометрические результаты……..……...…73

ГЛАВА 4 ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ..…..…..…76

4.1 Возрастные различия в показателях решения дивергентной задачи…….……...76

4.2 Осцилляторная активность мозга во время решения вербальной дивергентной задачи и ее специфика у молодых и пожилых испытуемых....78

4.2.1 Предстимульный временной интервал……...78

4.2.2 Начальный этап решения задачи…….…79

4.2.3 Средний этап решения задачи……..…..…85

4.2.4 Заключительный этап решения задачи……..……..…89

4.3 Предикторы оригинальности в младшей и старшей возрастных группах…….……..…96

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....…….…….…99

ВЫВОДЫ…….……..…103

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ…….…..……104

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……..……...105

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), 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.

ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ

1.1 Тест вербального дивергентного мышления как экспериментальная модель креативности

Творческое мышление представляет собой уникальную когнитивную деятельность, которая порождает новое видение проблемы и нестандартные решения задач. Для экспериментального изучения творческих способностей в рамках психометрического и нейрофизиологического подхода был разработан концепт креативности как индикатора творческого потенциала человека. В свете современных представлений ключевым фактором креативности является дивергентное мышление – способность найти множество нестандартных решений в задаче открытого типа, которая не предполагает единственно верного ответа (Guilford, 1950, 1967). Выделен ряд компонентов решения дивергентных задач, которые доступны измерению (Wallach, Kogan, 1965; Torrance, 1974). Однако наиболее информативным индикатором, отражающим сущность творчества, является показатель качества – оригинальности предложенной идеи (Diedrich et al., 2015).

По аналогии с общими когнитивными способностями человека, дивергентное мышление разделяют на образное, оперирующее нелингвистической информацией, и вербальное, реализуемое в пространстве речевых символов (Дружинин, 1998). Согласно данным литературы, возрастное ухудшение когнитивных способностей сильнее проявляется в зрительно-пространственной сфере по сравнению с вербальной (Jenkins et al., 2000; Piolino et al., 2002). В соответствии с целью нашей работы исследовать нейрофизиологические основы эффективной творческой деятельности, мы

остановились на изучении у молодых и пожилых испытуемых вербальной креативности, которая опирается на более сохранные при старении вербальные способности.

Вербальные субтесты Торранса (Torrance, 1966) являются одним из самых распространенных инструментов для количественной оценки вербального дивергентного мышления (Kim, 2006), имеют наибольшую предсказательную валидность среди аналогичных психометрических тестов (Kim, 2008) и коррелируют с креативными достижениями в реальной жизни (Plucker, 1999; Benedek et al, 2014Б). В эту батарею субтестов входит тест Гилфорда «Необычное использование предмета».

1.2 Исследования креативности при старении

1.2.1 Изменение эффективности креативного мышления при старении

Проблема творческой продуктивности в пожилом возрасте в течение четырех десятилетий активно исследовалась в рамках психометрического подхода. При исследовании изменений оригинальности вербального дивергентного мышления, связанных со старением, получены противоречивые результаты. Так, в ряде работ выявлено снижение оригинальности у пожилых испытуемых (Alpaugh, Birren, 1977; Jaquish, Ripple, 1981; Alpaugh et al., 1982; Ruth, Birren, 1985; Lee, 1994). Тогда как в других исследованиях показана стабильность этого показателя (Palmiero et al., 2014; Addis et al., 2016; Madore et al., 2016; Palmiero et al., 2017). В одной работе даже отметили более высокую

оригинальность у пожилых по сравнению с молодыми испытуемыми в задаче «Необычное использование предмета» при одинаковом уровне беглости, т.е. количестве созданных решений (Leon et al., 2014).

Представляется интересным, что возрастное снижение было зарегистрировано в более ранних исследованиях возрастных изменений креативности, тогда как отсутствие изменений - в исследованиях, проведенных на десятилетия позже. Расхождение результатов исследований, разделенных большим интервалом времени, может быть свидетельством общей тенденции замедления когнитивного старения, связанной с высокими темпами развития новых технологий, которые стимулируют, в том числе и пожилых людей, к постоянному овладению новыми знаниями и навыками, что является фактором, препятствующим негативным возрастным изменениям мозга. Таким образом, в те же возрастные группы, что и в ранних исследованиях, возможно, попадает меньше людей с предклиническими изменениями мозговых функций (Вольф, Глухих, 2011; Babiloni et al., 2006). Нужно отметить, что причиной расхождения данных о возрастных нарушениях креативности также может быть разный возраст исследуемых групп, т.к. показано, что резкое снижение вербальной креативности наблюдается после 70 лет (McCrae et al., 1987; Reese et al., 2001; Palmiero, 2015).

Проведенный анализ психометрических исследований различий в креативности при старении в целом свидетельствует о возможности сохранения этой способности в пожилом возрасте. Необходимо обратить внимание, что принципиально важным фактором, определяющим результат сравнения молодых и пожилых лиц по показателю креативности, могут быть характеристики выборки пожилых испытуемых, а именно, уровень когнитивного функционирования и когнитивного резерва, связанный с сохранением ментального здоровья. Таким образом, с целью исследования возможных психофизиологических механизмов сохранения креативного потенциала в пожилом возрасте важно рассматривать именно успешное ментальное старение, одним из основных критериев которого является продолжение профессиональной деятельности в пожилом возрасте (Hall

et al., 2009; Stern, 2009; Amieva et al., 2010; Plassman et al., 2010, Reed et al., 2011; Wilson et al., 2013).

1.2.2 Возможные основы сохранения творческого потенциала при старении

Известно, что старение характеризуется снижением ряда базовых когнитивных функций (Baltes et al., 1999; Christensen, 2001; Anstey, Low, 2004). Наиболее выраженные изменения проявляются в замедлении скорости обработки информации (Salthouse, 1996; Salthouse, Ferrer-Caja, 2003; Salthouse, 2004; Meijer et al., 2009, Kropotov et al., 2016), ухудшении рабочей памяти (Craik, 1977; Jenkins et al., 2000; Park et al., 2002; Reuter-Lorenz, Sylvester, 2005; Bopp, Verhaeghen, 2007; Meijer et al., 2009), переключении внимания (Craik, Byrd, 1982; McDowd, Craik, 1988; Salthouse, 1996; Tsang, Shaner, 1998; Verhaeghen, Cerella, 2002). Однако при этом большой массив данных свидетельствует о возможности сохранять эффективное творческое мышление в пожилом возрасте.

В основе сохранности креативного потенциала при старении указывают изменения способов решения задач с опорой на сохранные когнитивные способности. Такой подход имеет веские основания, учитывая данные о возможности использования различных стратегий при решении задач дивергентного типа (Sowden et al., 2015) и гетерогенность изменений когнитивных функций при старении с заметным снижением флюидных и поддержанием высокого уровня кристаллизованных способностей (Baltes et al., 1999; Kaufman et al., 2008). Кроме того, экспериментальные свидетельства, полученные в рамках исследования эффективности профессиональной деятельности при старении, показывают, что возрастное ухудшение отдельных

функций может быть скорректировано за счет оптимизации других составляющих деятельности. Так, у пожилых машинисток скорость печатания снижается, но производительность не ухудшается из-за лучшего и более раннего сканирования текста (Salthouse, 1984).

Многие теоретические модели креативности подчеркивают важность ассоциативных процессов: креативное мышление описывается как рекомбинация недоминантных и отдаленных ассоциаций в новую полезную комбинацию для обнаружения неочевидного решения проблемы (Mednick, 1962; Koestler, 1964; Benedek et al., 2012). Для создания креативной идеи может быть важна не только рекомбинация элементов семантической, но и эпизодической памяти (Schacter, Addis, 2007; Addis et al., 2016; Madore et al., 2016). В то время как семантическая память почти не снижается с возрастом (Light, 1992; Piolino et al., 2002), и даже отмечается улучшение вербальных способностей (Pratt, Robins, 1991; James et al., 1998; Kemper, Kemtes, 1999; Park et al., 2002; Verhaeghen, 2003; Salthouse, 2004), эпизодическая память ухудшается (Glisky et al., 2001; Levine et al., 2002; Addis et al., 2008; Luo, Craik, 2009; Addis et al., 2010; Gaesser et al., 2011; Schacter et al., 2013; Madore et al., 2016). Ряд исследователей подчеркивают, что в качестве компенсации сниженной эпизодической памяти и воображения пожилые люди могут более широко использовать сохранную семантическую память (Madore et al., 2016) и опираться на вербальные способности (Palmiero et al., 2014) при решении вербальных дивергентных задач. Были получены эмпирические свидетельства справедливости данного предположения для показателя беглости: более высокие лексико-семантические способности были ассоциированы с беглостью в тесте «Необычное использование предмета» только у пожилых испытуемых (Leon et al., 2014).

Отдельно стоит отметить возможность решения креативных задач с помощью так называемой интуиции, т.е. неосознаваемого узнавания ситуаций, которые напоминают те, что встречались в прошлом (Seligman, Kahana, 2009; Seligman et al., 2016) или мышления по аналогии (Hawkins, Blakeslee, 2007). К неосознаваемым процессам, способствующим креативности можно также отнести

эвристики - принципы решения задач, которые стали автоматическими в результате повторения (Seligman et al., 2016). Это знание того, что и как следует делать для достижения результата (позитивная эвристика) и того, чего делать не следует (негативная эвристика) (Peters et al., 2000; Baron, 2008). В целом, у пожилых людей накапливаются примеры успешных паттернов, эвристик, интуиции (Baltes, Baltes, 1990). Показано что использование таких стратегий требует меньше усилий и позволяет быстрее приходить к нахождению решения (Peters et al., 2000; Baron, 2008; Mata et al., 2010). Предполагают, что эти стратегии могут поддерживать креативный потенциал и компенсировать снижение флюидного интеллекта (Seligman et al., 2016). Однако авторы подчеркивают, что поддержание этих позитивных факторов требуют от пожилого человека участия в новых разнообразных видах деятельности, открытости опыту.

Анализ ответов в тесте «Необычное использование предмета», осуществленный Леон и коллегами, показал, что пожилые испытуемые чаще, чем молодые, вербализировали стратегию целенаправленного поиска решения в памяти (Leon et al., 2014). Авторы предположили, что высокие результаты в этой задаче у участников старшего возраста могут быть обусловлены использованием своего предыдущего опыта с предметами. Однако группой других исследователей было обнаружено, что испытуемые младшей и старшей групп не отличались по количеству так называемых «старых идей» (которые уже были известны) и «новых идей» (впервые пришедших в голову во время выполнения задания) относительно необычного использования предмета (Madore et al., 2016). Поэтому, можно предположить, что использование накопленных знаний пожилыми людьми происходит не через прямое воспроизведение готовых ответов, а через трансформирующее мышление с опорой на них. Такое предположение схоже с гипотезой Селигмэна и коллег об успешном использовании паттернов узнавания и аналогий людьми старшего возраста, поддерживающих когнитивную сложность и интегративное мышление (Seligman et al., 2016).

Таким образом, данные психометрического изучения изменений когнитивных функций и креативности свидетельствуют, что сохранение

креативного потенциала при старении может осуществляться на основе использования других способов решения дивергентных задач с опорой на сохранные функции, что может найти отражение в специфических паттернах изменения активности мозга при решении задачи. При этом убедительные данные о существенном замедлении когнитивных процессов при старении указывают на необходимость рассмотрения реорганизации временного паттерна развертывания креативного процесса.

1.3 Нейрофизиология стадий креативного процесса

1.3.1 Подходы к исследованию стадий креативного процесса

Творческое мышление является высшей психической функцией, состоящей из множества более простых психических процессов, каждый из которых имеет свою мозговую локализацию. Кроме того, многочисленные психологические модели такого сложного конструкта как креативность, согласованно говорят о различных стадиях творческого мышления, т.е. одни процессы с одной локализацией сменяют другие процессы с другой локализацией (Dietrich, 2007). Преодоление «ошибки единой монолитной функции», как эту методологическую проблему обозначил Дитрих (Dietrich, 2007), может лежать в исследовании разворачивания креативного процесса во времени. Представляется обоснованным исследование нейронных коррелятов креативного мышления на различных стадиях и с учетом временной динамики; такие работы все чаще появляются в последнее время.

В ряде работ проанализирована активность мозга в нескольких временных интервалах, которые получаются в результате деления заранее фиксированного времени, в течение которого испытуемый решает экспериментальную задачу, на равные промежутки. Шваб с соавторами рассмотрели изменения осцилляторной активности мозга на частоте альфа диапазона в ответ на предъявление задания «Необычное использование предмета» в трех двухсекундных интервалах (на генерацию креативной идеи давалось 10 с, первая и последняя секунды были исключены из анализа) и выявили усиливающийся со временем латеральный эффект с большими значениями мощности в правом полушарии (Schwab et al., 2014). Авторы пришли к выводу, что последние этапы решения дивергентной задачи сопровождаются более сложными процессами генерации мысленных образов, и увеличение мощности альфа ритма в правом полушарии отражает торможение незначимой информации, которая может нарушить творческое мышление (Schwab et al., 2014). В томографическом исследовании на основе анализа временной динамики функциональной связности было изучено участие крупных сетей мозга в творческом мышлении (Beaty et al., 2015). Испытуемым давалось 12 с на поиск необычного использования предмета, которые были разбиты на двухсекундные интервалы анализа; в анализ брали все экспериментальные пробы, не зависимо от того, найдено ли было решение задачи. Начиная со второй половины задания (4-5 с), дорзолатеральная префронтальная кора – ключевой узел сети исполнительного контроля - демонстрировала функциональную связность с областями дефолт сети, что отражает кооперацию когнитивного контроля и спонтанного мышления в креативности (Beaty et al., 2015).

Описанные исследования имеют ряд методологических особенностей: испытуемым давалось ограниченное количество времени на создание ответа в дивергентной задаче, которое при последующем анализе делили на равные (двухсекундные) интервалы. Такой подход позволяет проследить разворачивание процесса решения креативной задачи во времени, однако он не учитывает индивидуальную скорость решения задачи и, соответственно, теряется

информация о том, какие когнитивные субпроцессы могут происходить в выделенных исследователем временных интервалах. Например, испытуемый мог решить задачу раньше фиксированного времени и прекратить думать о задании в оставшиеся секунды экспериментальной пробы.

Выделение и последующее психофизиологическое исследование теоретически обоснованных этапов составляет другое активно разрабатываемое направление изучения стадий творческого мышления.

В настоящее время разработан ряд психологических концепций креативного мышления, которые так или иначе можно соотнести с двухфазной моделью творчества («Dual-model of creativity»), рассматривающей креативность как результат чередования фаз генерации и исследования/оценивания идеи (Finke et al., 1992; Basadur, 1995; Howard-Jones, 2002; Gabora, 2005; Benedek, Jauk, 2018). Процесс генерации идеи включает извлечение свободных ассоциаций из памяти, формирование ассоциаций между элементами, синтез и трансформацию структур, нахождение аналогий. Исследовательский и оценочный процесс подразумевает определение существенных признаков решения, предположение о его потенциальных функциях в различных контекстах, аналитическую оценку уместности, значимости и оригинальности. В результате созданные на этапе генерации предварительные идеи либо отвергаются, либо дорабатываются, расширяются и совершенствуются.

Значение первичных ассоциативных процессов для креативного мышления было установлено в ряде работ с использованием метода вызванных потенциалов, которые показали, что креативное решение головоломки с помощью инсайта может быть найдено в первые секунды после предъявления задания. Было выявлено, что в интервале 300-800 мс после презентации стимула происходят процессы реструктуризации ментальных репрезентаций и инициации формирования новых ассоциаций (Zhao et al., 2011), а также закладываются основы инсайтного решения творческой задачи (Qiu et al., 2008). С другой стороны, на дивергентных вербальных задачах с низкой креативной нагрузкой (Ivanitsky et al., 2001) и заданиях на семантические суждения (Klimesch et al.,

1997) было выявлено, что в 200-700 мс происходят процессы категоризации стимульного слова и актуализация ассоциаций. По-видимому, уровень необычности первичных ассоциаций зависит от мотивации испытуемого на поиск стандартного или креативного решения.

Экспериментальные задачи, в которых испытуемых просят оценить готовую креативную идею (свою или чужую), позволяют изолировать процесс оценки креативного решения от его генерации.

Мэйселес и коллеги выявили, что оценивание оригинальности чужих идей по сравнению с предстимульной активностью мозга характеризуется большей активацией правой верхней темпоральной извилины, правой инсулы, мозжечка, таламуса, левой цингулярной извилины (Mayseless et al., 2014). Левая нижняя фронтальная извилина, которая считается возможным источником тормозного контроля (Swick et al., 2008), была активирована как во время оценки оригинальности идей о необычном использовании предмета, так и соответствия предъявленных характеристик стимульному предмету, поэтому можно предположить, что она опосредует общие процессы селекции и оценки (Mayseless et al., 2014). Согласуясь с этой гипотезой, вовлечение нижней фронтальной извилины на стадии оценки креативной идеи было подтверждено в другой аналогичной работе (Kleinmintz et al., 2018). В серии работ Крюгер с соавторами испытуемым предлагалось по очереди оценить оригинальность и используемость чужих идей. Время решения такого задания составляло около 650 мс для необычного использования предмета (Kröger et al., 2012) и 600-700 мс для оценки креативности метафор (Rutter et al., 2012). В первом задании испытуемым предъявляли слово, обозначающее предмет, с описанием использования этого предмета и просили оценить, оригинальна ли идея и подходит ли для использования в реальной жизни (Kröger et al., 2012). Высокооригинальные и применимые идеи по сравнению с низкооригинальными и неприменимыми показывали активацию в кластере левой нижней фронтальной и передней цингулярной извилинах, что авторы связывают с детекцией ошибок или конфликта между соревнующимися репрезентациями во время «расширения

концепта» и принятия оценочного решения (Kröger et al., 2012). Во время оценки оригинальности и уместности метафор применение аналогичной схемы сравнения указало на активацию в нижней фронтальной извилине билатерально и средней фронтальной и верхней темпоральной извилинах в левом полушарии, что связывают с повышенными требованиями к контролируемому извлечению и селекции семантической информации для одновременно высокооригинальных и уместных идей (Rutter et al., 2012). В другой работе, где испытуемые оценивали оригинальность и уместность чужой идеи «Необычное использование предмета» с регистрацией латентности вызванных потенциалов было показано, что бессмысленные и креативные ответы вызывали большую негативную амплитуду N400 (300-500 мс), чем обычное (нормативное) использование предмета, а при бессмысленных ответах негативная амплитуда была больше выражена по сравнению с креативным и обычным использованием предмета в более поздних компонентах (500-900 мс) (Kröger et al., 2013). Таким образом, исследование выявило, что сначала происходит оценка оригинальности, а потом применимости идеи, и позволило ограничить процесс оценки креативности идеи интервалом около 600 мс (Kröger et al., 2013).

Таким образом, этап оценки связан с активацией различных структур мозга, в зависимости от характера оцениваемой идеи и контрольных тестовых условий. Однако все исследования подчеркивают роль структур левого полушария, особенно отмечается функция контролируемого семантического доступа и тормозного контроля, опосредованные левой нижней фронтальной и передней цингулярной извилиной. Согласованные данные также получены относительно вовлечения в процесс оценки темпоральных областей, которые ответственны за извлечение семантической информации. Последнее может быть обусловлено тем фактом, что испытуемые оценивали чужие, т.е. незнакомые идеи, которые сначала нужно соотнести с имеющимися в памяти энграммами.

Несколько исследований в области творчества в искусстве наряду со стадией оценки идей дополнительно выделяли этап генерации идеи с помощью

инструкции создавать множество идей в определенный промежуток времени, воздерживаясь на данном этапе от их сравнения и выбора лучшего варианта.

Элламил с коллегами просили группу художников в течении 30 с генерировать эскизы обложки для книги по заданному краткому сюжету, в качестве следующего задания они давали 20 с на оценку каждого из вариантов (Ellamil et al., 2012). Было выявлено, что на стадии генерации креативной идеи привлекается больше медиальная темпоральная доля, а во время оценивания идей обнаружена совместная активация исполнительной нейронной сети (включающая дорзолатеральную префронтальную кору и переднюю цингулярную извилину) и дефолт сети (включая медиальную префронтальную кору, заднюю цингулярную извилину, предклинье и нижнюю париетальную дольку), а также структур окципитальной коры (Ellamil et al., 2012). В другой работе испытуемых сначала просили создать рассказ, печатая текст на клавиатуре, а во второй части эксперимента - внести исправления и улучшить его (Liu et al., 2015). В течение обеих стадий была задействована медиальная префронтальная кора, активация исполнительных систем была ослаблена во время этапа генерации и усиливалась во время этапа улучшения творческого продукта.

Проведенные работы подтвердили роль структур исполнительной сети (дорзолатеральная префронтальная кора, передняя цингулярная извилина) в оценивании идей, однако дополнительно указали на важность эмоциональной оценки, особенно для генерации идей из области искусства (медиальная префронтальная кора), зрительной визуализации (окципитальные области) и интеграции информации (предклинье и задняя цингулярная извилина). Для этапа генерации решения была показана важность темпоральной доли, что отражает извлечение хранящихся в памяти семантических и эпизодических ассоциаций и их последующую рекомбинацию.

Таким образом, изучение стадий креативного процесса установило преимущественное участие различных структур мозга на разных этапах решения творческого задания, что обусловлено различиями в происходящих субпроцессах.

1.3.2 Выбор временных интервалов для анализа стадий творческого мышления в данном исследовании

Анализ литературы показал, что изучение развертывания процесса креативности во времени - перспективный подход к изучению психофизиологических основ творческой деятельности. Он проясняет смену субпроцессов креативности и вовлечения реализующих их структур мозга. Продуктивным, на наш взгляд, является исследование нейрофизиологической основы теоретически обоснованных этапов с учетом индивидуальной скорости решения задачи. В совокупности с известными данными о замедлении скорости обработки информации при старении, имеет смысл также рассмотреть временную динамику изменения активности мозга внутри выделенных этапов.

Выбор временного интервала для анализа на начальном этапе решения задачи

Возрастные различия в ассоциативных процессах, а именно в процессе формирования первичных ассоциаций, исследованы нами на начальном этапе решения задачи. Проведенный анализ литературы показал, что процесс формирования первичных ассоциаций, который может закладывать основы необычного взгляда на условия задачи, может происходить в первые 800 мс после предъявления задания (Qiu et al., 2008; Zhao et al., 2011).

Согласно общепризнанным представлениям о начальных этапах обработки информации, в 200-300 мс после предъявления стимула происходят перцептивные (по данным исследований вызванных потенциалов N100, P100 P200 (Kotchoubey, 2006)) и неосознаваемые (Иваницкий, 1997; Libet, 2003) процессы, потому этот временной интервал был исключен из анализа. Таким образом, на основе данных литературы мы выбрали 200-800 мс после предъявления дивергентной задачи для анализа нейрофизиологических коррелятов первичных ассоциативных процессов.

Выбор временного интервала для анализа на завершающем этапе решения задачи

Завершающий этап решения задачи был интересен нам с точки зрения процесса оценки креативной идеи. Поскольку каждому вербализованному в качестве ответа решению дивергентной задачи предшествует оценка созданной на более ранних стадиях идеи, мы посчитали обоснованным, что процесс оценки креативной идеи происходит во временной интервал, предшествующий нажатию на кнопки, сигнализирующему о нахождении решения. Проведенный анализ данных литературы позволил выявить, что в заданиях, где испытуемых просили оценить необычность чужой идеи, процесс оценивания и принятия решения об уровне креативности чужого ответа составлял около 600 мс (Kröger et al., 2012; Rutter et al., 2012; Kröger et al., 2013). Поэтому для анализа процесса оценки креативной идеи на завершающем этапе решения дивергентной задачи мы рассмотрели интервал в 600 мс перед сообщением ответа. Поскольку испытуемыми тратили время на подготовку моторного движения (нажатие на кнопки), сигнализирующего о нахождении решения, мы учли время формирования моторной реакции. Общеизвестным является общее замедление при старении (Fozard et al., 1994; Salthouse, 1996; Der, Deary, 2006; Meijer et al., 2009, Kropotov et al., 2016), поэтому для ограничения интервала анализа процессами, происходящими до подготовки моторной реакции, для каждого испытуемого было оценено индивидуальное время формирования моторной реакции.

Выбор временного интервала для анализа на среднем этапе решения задачи

Согласно теоретическим представлениям, во время креативного мышления происходит постоянная смена субпроцессов генерации и оценивания, что, несомненно, является очень индивидуальным и изменчивым параметром для унифицированного анализа на большой выборке. Также продолжительность решения задачи не предопределялась схемой эксперимента и была различной для каждого испытуемого и каждой пробы. Поэтому, в отличие от процессов первичного формирования ассоциаций и окончательной оценки найденной

креативной идеи, мы рассмотрели средний временной интервал решения дивергентной задачи, ассоциированный с поиском ответа, целиком и без анализа временной динамики.

Таким образом, в настоящей работе мы исследовали начальный (первичные ассоциативные процессы), средний (поиск решения дивергентной задачи) и завершающий (оценка созданной креативной идеи) этапы решения вербальной дивергентной задачи. Анализ временной динамики активности мозга внутри начального и завершающего этапов обуславливает применение метода исследования, обладающего высоким временным разрешением. Являясь непосредственным отражением активности популяций нейронов (Nunez, Silberstein, 2000), метод ЭЭГ предоставляет необходимое временное разрешение.

1.4 Осцилляторная активность мозга, лежащая в основе креативного мышления

Регистрация электроэнцефалограммы (ЭЭГ) широко используется для исследования нейрофизиологических основ креативности (Бойцова и др., 2017; Fink et al., 2007; Arden et al., 2010; Dietrich, Kanso, 2010; Runco, Yoruk, 2014). Анализ частотных характеристик осцилляторной активности мозга дает возможность получить представление о вовлеченных процессах обработки информации. Низкочастотные диапазоны, отражающие активность больших популяций нейронов, ассоциируют с процессами мотивации, памяти и внимания (Klimesch, 1999; Knyazev, 2007; Freunberger et al., 2011; Klimesch, 2012), а высокочастотные ритмы отражают локальную нейронную обработку и опосредуют более специфические когнитивные процессы, например, связывание разнообразных характеристик полимодальных стимулов (Tallon-Boudry, Bertrand,

1999; Keil et al., 1999; Gruber, Muller, 2005). Такой сложный когнитивный процесс как творчество требует интеграции различных функций и формирует специфические пространственно-временные паттерны осцилляторной активности.

С решением креативных задач наиболее тесно связаны модуляции альфа, бета и тета ритмов. В обзоре, посвященном ЭЭГ исследованиям креативности, Финк и Бенедек отмечают, что креативное мышление ассоциировано с синхронизацией (связанная с событием синхронизация, event-related synchronization, ERS) или отсутствием десинхронизации (event-related desynchronization, ERD) в альфа диапазоне (Fink, Benedek, 2014A). Серия ЭЭГ исследований выявила различия характеристик альфа ритма в зависимости от уровня оригинальности решений испытуемых (Jauˇsovec, Jauˇsovec, 2000; Grabner et al., 2007; Fink, Neubauer, 2008). Результаты многочисленных экспериментов свидетельствуют, что креативность связана с большей мощностью альфа ритма во фронтальных отведениях (Вольф и др., 2009; Fink et al., 2006; Fink et al., 2009A; Jauk et al., 2012; Jaarsveld et al., 2015; Lustenberger et al., 2015), в правом полушарии и париетальной области (Разумникова и др., 2009B; Родионов, 2013; Fink et al., 2009A; Fink et al., 2009Б; Benedek et al., 2011; Schwab et al., 2014).

Традиционно считается, что активация коры мозга связана с ERD альфа ритма (Neuper, Pfurtscheller, 2001; Pfurtscheller, 2001; Pfurtscheller, 2003). В согласии с этой позицией относительно функционального значения альфа осцилляций, повышенный уровень синхронизации, выявленный в исследованиях креативности, можно связать со снижением активности префронтальной коры, при котором ее аналитические функции временно подавляются (Dietrich, 2003). Однако накопленные в последние годы данные позволяют рассматривать ERS альфа ритма в качестве индикатора активных процессов, а именно торможения под влиянием нисходящего контроля когнитивных процессов, которые не участвуют в выполнении задания (Tuladhar et al., 2007; Klimesch et al., 2007; Händel et al., 2011; Bonnefond, Jensen, 2012; Klimesch, 2012; Roux, Uhlhaas, 2014; Rominger et al., 2018). Синхронизация альфа ритма отмечена при

контрастировании сигнала на фоне шума за счет подавления нерелевантной информации (Разумникова, 2009А; Klimesch, 2012), во время усиления внутреннего внимания (Cooper et al., 2003; Benedek et al., 2011; Benedek et al., 2014Г; Schwab et al., 2014), необходимого для осуществления креативного мышления (Нагорнова, Шемякина, 2014; Fink et al., 2007; Jauk et al., 2012; Fink, Benedek, 2014А; Jaarsveld et al., 2015). Одновременное применение электроэнцефалограммы и функциональной магнитно-резонансной томографии также показало, что во время создания креативной идеи в дивергентной задаче синхронизация альфа ритма (10-12 Гц) во фронтальных областях сопровождается активацией фронтальных областей левого полушария (Fink et al., 2009Б).

Однако в некоторых работах при решении креативных задач отмечают усиление десинхронизации альфа ритма (Данько и др, 2003; Разумникова, Брызгалов, 2005; Тарасова и др., 2006; Разумникова и др., 2009Б; Razumnikova, 2000; Razumnikova, 2007).

Различные результаты относительно реактивности мощности альфа ритма в ответ на решение задачи могут быть обусловлены особенностями креативных заданий. Положительная роль десинхронизации альфа ритма в креативности показана для тех задач, которые более тесно связаны с ассоциативными процессами и рекомбинацией семантических элементов, для решения которых необходимо сфокусированное внимание и поиск в ассоциативных сетях, что является компонентом вербального интеллекта (Разумникова, 2009А). Еще одним возможным объяснением несогласованных результатов может быть применяемая стратегия решения задачи. Имеются данные, что логическое решение задачи по сравнению с инсайтным характеризуется меньшей амплитудой альфа ритма в задних отведениях, особенно правого полушария (Jung-Beeman et al., 2004; Bowden et al., 2005). Предпочтение аналитической стратегии может быть связано с более высоким интеллектом испытуемых (Martindale et al., 1984).

Электрофизиологические исследования мозговой организации креативного мышления позволили установить также вклад бета частотного диапазона ЭЭГ.

Серия работ показывает увеличение мощности бета ритма во время решения креативных задач (Разумникова, 2004; Тарасова и др., 2006; Шемякина и др., 2007; Данько и др., 2009; Разумникова и др., 2009Б; Razumnikova, 2000; Razumnikova, 2007; Razumnikova et al., 2010). По некоторым данным эффекты в бета 2 ритме являются более устойчивым дифференцирующим признаком креативных процессов, чем широко исследованный в этом аспекте альфа ритм (Шемякина и др., 2007).

Повышение мощности осцилляций бета диапазона рассматривается в качестве коррелята интеграции информации как на перцептивном (Donner et al., 2007; Aissani et al., 2014; Göschl et al., 2015), так и на лингвистическом (Magyari et al., 2014; Ashley et al., 2015; Lewis et al., 2015; Lewis, Bastiaansen, 2015) уровнях. Синхронизация бета 2 ритма была показана при удачных попытках связывания отдельных характеристик стимула в гештальт, в то время как при его десинхронизации участники испытывали сложности в создании объединенных конструкций (Pulvermüller et al., 1997). Показана роль высокочастотной электрической активности мозга (гамма ритма) в обеспечении индивидуальных различий в уровне интеллекта (Бушов и др., 2009). В рамках описанного выше подхода исследователи рассматривают выявленную при решении креативных задач синхронизацию бета 2 ритма как нейронный коррелят мультимодального объединения различной информации, связыванием отдельных характеристик в единое целое, созданием объединенных конструкций. Важность этих процессов для создания оригинального, не имеющего аналогов продукта или идеи не вызывает сомнений. Значение низкочастотного бета диапазона в обеспечении креативной деятельности отмечается реже (Тарасова и др., 2006).

Что касается тета ритма, то доминирующим результатом при решении вербальных дивергентных задач является его синхронизация, особенно во фронтальных и темпоральных отведениях (Бехтерева и др., 2003; Разумникова, Брызгалов, 2005; Тарасова и др., 2006; Razumnikova, 2007).

Изменения мощности на частоте тета диапазона связывают с процессами обработки эмоциональной информации (Knyazev et al., 2009; Bocharov et al., 2017)

и памяти во время выполнения когнитивных задач (Klimesch et al., 1996; Bastiaansen et al., 2005). Традиционно считается, что синхронизация гиппокампального тета ритма отражает процессы памяти: успешное запоминание новой информации (Klimesch et al., 1996), кодирование и извлечение из эпизодической памяти (Klimesch et al., 1997; Nyhus, Curran, 2010). Во время лексико-семантической обработки во многих работах показана синхронизация тета ритма, что объясняют пересечением лингвистической системы с декларативной и рабочей памятью (Верхлютов и др., 2012; Bastiaansen et al., 2002; Bastiaansen et al., 2005; Bastiaansen et al., 2008; Salisbury, Taylor, 2012; Bakker et al., 2015). Кроме гиппокампального тета ритма, связанного с процессами кодирования и извлечения энграмм памяти, выделяют срединно-фронтальный тета ритм, который может генерироваться в передней цингулярной коре (Wang et al., 2005) и ассоциирован с когнитивным контролем (Cohen, Donner, 2013; Itthipuripat et al., 2013; Cavanagh, Frank, 2014; van Driel et al., 2015).

Таким образом, выявленная во многих работах тета синхронизация во время выполнения креативного задания свидетельствует о роли процессов памяти и когнитивного контроля в решении творческой задачи.

Перечисленные факты позволяют заключить, что ЭЭГ является эффективным средством для изучения мозговых механизмов креативности. Реактивность мощности тета, альфа и бета ритмов дает информацию о таких включенных в реализацию креативности процессах, как память, внимание, интеграция информации. В данной связи важно отметить, что согласно накопленным свидетельствам функциональное значение осцилляций имеет одинаковое значение для людей младшего и старшего возраста, хотя ЭЭГ корреляты решения экспериментальных задач могут иметь возрастную специфику, обусловленную структурными и функциональными изменениями мозга при старении (Gola et al., 2012; López-Loeza et al., 2016; Kober et al., 2016).

Все приведенные результаты относительно осцилляторной активности мозга во время решения креативных задач были получены на молодых испытуемых. Мы обнаружили только одно исследование ассоциаций ЭЭГ и

креативности у пожилых лиц (Ueno et al., 2015). Результаты анализа энтропии фоновой ЭЭГ показали, что более высокая креативность связана с большей сложностью сигналов ЭЭГ, особенно на низких частотах (Ueno et al., 2015). Однако исследование не позволяет выделить успешные возрастные перестройки в работе мозга во время творческого мышления, так как авторы регистрировали ЭЭГ только в состоянии покоя и на выборке пожилых испытуемых. В то же время убедительно показано изменение фоновой мощности рассмотренных ЭЭГ ритмов при старении (Вольф, Глухих 2011; Cummins, Finnigan, 2007; Gaál et al., 2010; Leirer et al. 2011; Vlahou et al., 2014), что в настоящее время расценивается как преднастройка к специфическим изменениям активности ритмов в процессах когнитивной деятельности (Basar, 1998; Basar, 1999; Klimesch, 1999) и является предпосылкой для исследования значения этих ритмов в процессах дивергентного мышления при старении.

1.5 Структуры мозга, обеспечивающие креативное мышление, и их изменение при старении

Структурные (МРТ) и функциональные (фМРТ) томографические исследования (Штарк и др., 2012) не смогли выявить локализацию креативности как таковой, напротив, было показано, что она не опирается на какую-то одну область мозга либо только на одно из полушарий (Dietrich, Kanso, 2010; Boccia et al., 2015). Такой результат представляется логичным, потому что креативность, являясь высшей психической функцией, поддерживается разнообразными мыслительными операциями (Dietrich, 2007). В то же время высокое пространственное разрешение томографического метода позволило выделить ряд ключевых структур, лежащих в основе различных субпроцессов креативности.

Анализ данных литературы по нейробиологии старения относительно возрастных изменений в областях мозга, имеющих значение для креативности, позволяет выявить нейробиологическую основу, на которой разворачивается креативное мышление в пожилом возрасте.

Не вызывает сомнения, что креативное мышление невозможно без извлечения информации из памяти. По мнению большинства исследователей, функциональное значение темпоральной доли заключается в конвергенции входящей перцептивной, моторной, эмоциональной информации и хранении абстрактных репрезентаций, семантических элементов и другой конкретной информации о концептах (Ungerleider, Haxby, 1994; Rauschecker, Tian, 2000; Patterson et al., 2007; Buckner et al., 2008; Binder, Desai, 2011). В многочисленных работах было показано вовлечение структур медиальной темпоральной доли во время вербального креативного мышления (Fink et al., 2009Б; Shah et al., 2013; Benedek et al., 2014A; Beaty et al., 2015), что подтверждется данными мета-анализа (Boccia et al., 2015; Wu et al., 2015). Не вызывает сомнения, что в реализацию креативного мышления наряду с левополушарными вербальными областями также вовлекаются лингвистические области правого полушария (Bowden, Beeman, 1998; Gold et al., 2012). Данный факт обусловлен тем, что актуализация отдаленных ассоциаций имеет ключевое значение для осуществления творческого мышления (Mednick, 1962; Benedek, Neubauer, 2011; Benedek et al., 2012), и именно правое полушарие включено в обработку слабо связанных семантических ассоциаций (Federmeier, Kutas, 1999; Schmidt et al., 2007).

Что касается возрастных изменений в темпоральной доле, отмечают умеренное утончение при старении входящих в нее корковых и подкорковых структур, с наибольшим эффектом в гиппокампе (Raz et al., 2004), что является одним из основных факторов снижения эпизодической памяти в старшем возрасте (Daselaar et al., 2006; Head et al., 2008).

Значимость латеральной префронтальной коры в реализации креативного мышления признается большинством исследователей (Gonen-Yaacovi et al., 2013; Wu et al., 2015), что объясняется ее ролью в осуществлении таких важных для

креативности процессах как исполнительный контроль (Blumenfield et al., 2011; Spreng et al., 2013), рабочая память (Curtis, D'Esposito, 2003), торможение ответа (Aron, 2007), переключение между заданиями (Dreher, Berman, 2002). Часто в фМРТ работах активация левой нижней фронтальной извилины выступает нейронным маркером креативного мышления (Benedek et al., 2014A; Benedek et al., 2014B), оценки оригинальности вербальных креативных идей (Mayseless et al., 2014; Kleinmintz et al., 2018). Анализируя ее роль в осуществлении процессов креативности, необходимо отметить, что функциональное значение этой структуры связывают с контролируемым извлечением семантической информации (Badre, Wagner, 2007; Binder, Desai, 2011; Jefferies, 2013). В свете современных представлений, семантические сети темпоральной и париетальной коры, которые хранят информацию об обычном, нормативном использовании предметов, порядке действий или оценке ситуации, в первую очередь привлекаются к обработке входящей семантической информации. Во время выполнения дивергентного задания требуется торможение этих сетей и активация более отдаленных ассоциаций. Считается, что именно префронтальные структуры мозга могут запускать эти процессы по системе нейронных связей с рядом темпоральных и париетальных корковых структур (Pandya, Kuypers, 1969; Petsche, 1996). Согласно концепции Абрахам передняя нижняя фронтальная извилина левого полушария совместно с темпоральной долей, которая является хранилищем концептуальных знаний, и латеральной фронтополярной корой, отвечающей за связное аргументирование, вовлечены в так называемое «расширение концепта» («conceptual expansion»). Это способность расширить границы установленных концептуальных структур, чтобы включить необычные или новые ассоциации (Abraham, 2014). Экспериментальные работы подтверждают, что нижняя фронтальная извилина больше активируется в тех семантических заданиях, в которых велико семантическое расстояние между ассоциациями (Bunge et al., 2005; Green et al., 2010; Abraham et al, 2012Б).

Относительно состояния префронтальной коры при старении, необходимо отметить возрастную уязвимость данной структуры (Pfefferbaum et al., 1998; Raz,

2000; Raz, 2004; Raz et al., 2005; Driscoll et al., 2009). Связь префронтальной коры с функциями исполнительного контроля и когнитивной гибкости (Goldman-Rakic, 1996; Baddeley, 2002) обусловливает положительные ассоциации между степенью ее атрофии и снижением исполнительных функций при старении (Gunning-Dixon, Raz, 2003; Head et al., 2009; Cardenas et al., 2011).

Другой структурой передней части мозга, которая активируется во время выполнения креативных заданий, является передняя цингулярная кора (Beaty et al., 2015; Mayseless et al., 2015; Wu et al., 2015; Heinonen et al., 2016). Поскольку передняя цингулярная кора включена в детекцию конфликтующих ответов (Weissman et al., 2003; Botvinick et al., 2004; Kerns et al., 2004, Kropotov et al., 2011) и подавление нерелевантных воспоминаний (Wyland et al., 2003; Anderson et al., 2004), значение этой структуры для генерации креативной идеи определяется высокой потребностью творческого мышления в селекции и торможении неоригинальной, привычной информации (Abraham, 2014). Ключевая роль передней цингулярной коры в обнаружении ошибок (Holroyd et al., 2004; Polli et al., 2005) может лежать в основе показанной в работах активации этой структуры во время оценивания креативного решения (Beaty et al., 2015; Mayseless et al., 2015).

Что касается возрастного аспекта, показано утончение цингулярной коры при старении (Haznedar et al., 2011; Mann et al., 2011), которое коррелировало с эффективностью тормозного контроля (Elderkin-Thompson et al., 2008).

Дефолт сеть мозга активируется при отсутствии либо при выполнении очень легкого внешнего задания (Raichle, Snyder, 2007; Kelly et al., 2008; Мажирина и др., 2015) и реализует внутренне направленные и самопроизвольно генерируемые процессы, например, извлечение автобиографической информации и предвосхищение будущего (Gusnard et al., 2001; Addis et al., 2007; Buckner et al., 2008; Andrews-Hanna et al., 2014), ее часто связывают с процессами воображения и блуждания мыслей (Mason et al., 2007). Поскольку генерация внутренних мыслей и образов является ключевым элементом креативной инновации (Heilman, 2016), широкое вовлечение узлов дефолт сети в реализацию креативного

мышления представляется закономерным. Томографические исследования показывают связь креативного воображения с такими задними узлами дефолт системы, участвующими в обеспечении функций интеграции информации и поддержания внутренне направленного внимания (Binder et al., 1999; Buckner et al., 2008; Leech, Sharp, 2014), как задняя цингулярная кора (Jung et al., 2010; Mayseless et al., 2015), нижняя париетальная доля (Fink et al., 2009Б; Fink et al., 2010; Abraham et al., 2012A; Benedek et al., 2014B) и предклинье (Hassabis et al., 2007; Burgess, 2008; Takeuchi et al., 2011; Chamberlain et al., 2014; Fink et al., 2014B; Mashal et al., 2014; Chen et al., 2015).

Относительно вопроса о влиянии старения, выявлены возрастные нарушения в дефолт системе (Andrews-Hanna et al., 2007; Damoiseaux et al., 2008; Sala-Llonch et al., 2015), которые наиболее сильно затрагивают ее задние узлы (Lustig et al., 2003; Miller et al., 2008; Jones et al., 2011; Sala-Llonch et al., 2015). С помощью метода ЭЭГ также было обнаружено меньшее количество узлов и связей задних узлов дефолт сети, осциллирующих на частотах бета диапазона (Knyazev et al., 2015A).

Проведенный обзор данных литературы по проблеме топографической организации работы мозга при осуществлении креативного мышления показывает, что активность определенных структур указывает на такие субпроцессы креативности как извлечение из памяти, интеграция и рекомбинация, торможение и селекция информации. Таким образом, полученные с помощью метода фМРТ данные убедительно демонстрируют, что подробный анализ пространственных паттернов может предоставить важную информацию для понимания возрастных особенностей в механизмах креативной деятельности.

Обзор томографических исследований в области креативности и старения показал, что хотя негативные возрастные изменения могут затрагивать структуры, включенные в креативное мышление, сохранение креативного мышления делают актуальным поиск тех структур и механизмов, которые могут компенсировать возрастные нарушения.

Использование специальных алгоритмов, относящихся к решению обратной задачи, позволяет получить информацию о генераторах электрической активности мозга, зарегистрированной с поверхности скальпа с помощью ЭЭГ (Grech et al., 2008), и тем самым повысить относительно низкое пространственное разрешение метода (Nunez et al., 1994; Babiloni et al., 2001). Эти факты побудили нас применить к ЭЭГ метод sLORETA (standardized low resolution brain electromagnetic tomography) (Pascual-Marqui, 2002), с помощью которого может быть оценена локальная активность как поверхностных, так и глубоких корковых структур мозга.

1.6 Нейрофизиологические модели старения мозга

В свете современных представлений реализация когнитивных функций при старении характеризуется функциональными перестройками активности мозга (Spreng et al., 2010). Данный факт был неоднократно подтвержден в исследованиях возрастных изменений нейронных коррелятов таких когнитивных процессов как зрительное восприятие (Grady et al., 2000; Levine et al., 2000; Iidaka et al., 2002; Davis et al., 2008), внимание (Madden et al., 1997; Cabeza et al., 2004; Solbakk et al., 2008), рабочая память (Cabeza et al., 2004), решение проблем (Nagahama et al., 1997), кодирование (Gutchess et al., 2005; Dennis et al., 2007; Leshikar et al., 2010) и извлечение (Cabeza er al., 2000; Grady et al., 2000; Cabeza et al., 2004) информации из памяти. Во время решения экспериментальных задач разные структуры мозга показывают как сниженную, так и повышенную метаболическую активность, что позволило прийти к выводу, что когнитивная обработка у пожилых людей не более слабая версия когнитивной обработки у молодых, а качественно другой процесс (Cabeza et al., 2013). Для объяснения

паттернов гиперактивации мозговых структур во время выполнения разнообразных задач у пожилых людей, показанных с помощью фМРТ, были разработаны 2 основные гипотезы: дедифференциация и компенсация. Дедифференциация обозначается как процесс, при котором структуры, которые ранее имели высокую специализацию для конкретной функции, теряют свою функциональную специфичность и становятся более общими для различных функций (Baltes, Lindenberger, 1997). Компенсация заключается в привлечении дополнительных нейронных ресурсов, чтобы поддержать сохранность когнитивного функционирования в условиях структурного и функционального снижения (Sala-Llonch et al., 2015). Одним из наиболее спорных и интригующих вопросов в нейрофизиологии старения является соотнесение наблюдаемых паттернов возрастных различий в активности мозга с дедифференциацией или компенсацией, и одним из критериев, который разграничивает эти процессы, может быть поведенческая эффективность в выполнении задания пожилыми испытуемыми. Ассоциация гиперактивации с низкой эффективностью может быть обусловлена дедифференциацией, использованием множества и/или неэффективных стратегий, отсутствием торможения из-за ухудшения коммуникации между правым и левым полушариями (Reuter-Lorenz, Cappell, 2008) или неудачной попыткой компенсации (Cabeza, Dennis, 2013). Паттерн гиперакивации структур мозга в сочетании с высокой продуктивностью в выполнении экспериментальной задачи считается компенсаторным (Reuter-Lorenz, Cappell, 2008).

В передних областях стареющего мозга, особенно в префронтальной коре, часто отмечаются такие негативные изменения как дефицит дофамина, атрофия, снижение целостности белого вещества (Pfefferbaum et al., 1998; Raz et al., 2005; Driscoll et al., 2009). Однако в этих же структурах наиболее часто наблюдается повышенная, предположительно компенсаторная, активность (Davis et al., 2008; Cabeza, Dennis, 2013). Парадоксальное на первый взгляд дополнительное вовлечение фронтальной коры во время выполнения разнообразных задач может быть связано с ее ролью в обеспечении когнитивной деятельности.

Исполнительные функции и неспецифические процессы контроля (например, селекция и торможение, переключение внимания, планирование), которые опираются на префронтальную кору, осуществляют мониторинг и целенаправленную регуляцию других когнитивных процессов (Head et al., 2008; Reuter-Lorenz, Cappell, 2008).

Существуют свидетельства, что возрастные изменения в метаболической активации мозга сопровождают использование специфических когнитивных стратегий в области языковой обработки (Shafto et al., 2012). Таким образом, компенсаторная дополнительная активность мозга в пожилом возрасте может быть ассоциирована с реализацией других способов обработки информации.

Несмотря на отсутствие однозначного соответствия между фМРТ и ЭЭГ данными относительно возрастных изменений в работе мозга, аналогично открытому на фМРТ данных феномену компенсаторной метаболической активности мозга одной из возрастных особенностей осцилляторных ответов является дополнительное привлечение пожилыми генераторов нейронной активности, отличных от используемых молодыми людьми. В ряде работ было показано, что неспособность к достаточно сильной активации генератора фронтального тета ритма, связанного с нисходящим исполнительным контролем, может компенсироваться изменениями мощности на частоте альфа диапазона, что связывают с дополнительным привлечением ресурсов внимания (Karrasch et al., 2004; Missonnier et al., 2011; Deiber et al., 2013; Gajewski, Falkenstein , 2014; Deiber et al., 2015). У пожилых по сравнению с молодыми испытуемыми амплитуда компонентов вызванных потенциалов в задании GO/NOGO была ниже, чем у молодых, в задних отведениях, но выше – в передних, что может являться проявлением механизма компенсации (Kropotov et al., 2016). Уменьшение связности между узлами сетей на частоте бета ритма в задних областях мозга сочеталось ее увеличением в передних областях, что может быть отражением компенсаторного привлечения произвольной системы внимания (Knyazev et al., 2015A).

Кроме изучения закономерностей в паттернах активации мозга, были созданы интегративные нейробиологические модели старения (Park, Reuter-Lorenz, 2009; Reuter-Lorenz, Park, 2014). Нейробиологический статус человека в старшем возрасте определяется сочетанием негативных и позитивных факторов, связанных как с физиологическими особенностями, так и с состояниями, которые индивидуум испытывает от рождения до смерти. К негативным влияниям относят стресс, васкулярные болезни, депрессию, нейротизм, травмы головы и воздействие токсинов (Reuter-Lorenz, Park, 2014). Более высоким когнитивным способностям при старении способствует включение в интеллектуальную и социальную активность в среднем и зрелом возрасте (Hall et al., 2009; Stern, 2009; Amieva et al., 2010; Plassman et al., 2010, Reed et al., 2011; Wilson et al., 2013), высокий уровень образования и/или более высокие способности в молодости (Bennett et al., 2003; Christensen et al., 2009; Karlamangla et al., 2009; Yaffe et al., 2009; Amieva et al., 2014), аэробные нагрузки и физическая активность (Colcombe et al., 2003; Colcombe et al., 2004; Erickson et al., 2010; Thijssen et al., 2010; Head et al., 2012; Chapman et al., 2013; Erickson et al., 2013), билингвизм (Bialystok et al., 2007; Bialystok et al., 2012; Schweizer et al., 2012; Gold et al., 2013), участие в активном насыщенном отдыхе (Wilson et al., 2002А; Wilson et al., 2002Б; Landau et al., 2012). Таким образом, успешное ментальное старение наиболее вероятно у людей, не имеющих в анамнезе серьезных психических или соматических заболеваний, с высоким уровнем образования, включенных в интеллектуальную или социальную активность и продолжающих профессиональную деятельность в пожилом возрасте (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).

ЭЭГ исследования последних лет показали, что возрастные модуляции осцилляторной активности мозга во многом зависят от параметров нейробиологического статуса пожилых людей. Получены свидетельства для тета частотного диапазона, что когнитивная тренировка может привести к повышению способностей к компенсаторной активности – повышению мощности

фронтального тета ритма, сопровождающегося увеличением эффективности в заданиях, опирающихся на исполнительный контроль (Anguera et al., 2013).

Таким образом, данные литературы свидетельствуют о связанной со старением реорганизации активности мозга, что может приводить к использованию новых когнитивных стратегий для поддержания эффективности когнитивных процессов в пожилом возрасте. Основываясь на данных компенсаторной активации фронтальной коры при осуществлении мыслительных операций при старении, мы предполагаем ее особую роль при решении многокомпонентных творческих задач у пожилых испытуемых.

1.7 Выбор психометрических характеристик в качестве предикторов эффективности творческого мышления в данном исследовании

Согласно современным представлениям важный вклад в возрастную сохранность креативного потенциала вносят лучшая скорость обработки информации и рабочая память, а также опора на вербальные и семантические способности. Однако вопрос о роли внимания и исполнительного контроля в реализации творческого мышления оказался вне зоны интереса исследователей, что представляется неоправданным ввиду важности когнитивного контроля в механизмах креативности и его неоднозначной роли в нем. В то время как положительное значение неосознаваемых ассоциативных процессов для креативности не вызывает сомнения, на молодых испытуемых были выявлены противоречивые данные относительно роли когнитивного контроля. С одной стороны, произвольные процессы исполнительного контроля необходимы для координации креативного процесса. Многими исследователями подчеркивается их значимость для торможения фиксации на близких ассоциациях в

семантической сети (Разумникова, 2009А; Beaty, Silvia, 2012; Abraham, 2014; Edl et al., 2014), контролируемого перемещения фокуса внимания и когнитивной гибкости (Zabelina, Ganis, 2018), а также для оценки разработанных решений, что позволяет отвергать бессмысленные, бесполезные или тривиальные идеи (Dailey, Mumford, 2006). С другой стороны, контролирующие исполнительные процессы могут тормозить креативное мышление. Неэффективный когнитивный контроль делает возможным проникновение в рабочую память большого количества нефильтрованной информации, что может давать преимущество в создании креативных идей (Дорфман, Гасимова, 2006; Carson et al., 2003; Rowe et al., 2007; Radel et al., 2015); «дефокусированное» внимание приводит к извлечению из семантической памяти как близких, так и отдаленных ассоциаций приблизительно на одинаковом уровне вместо тенденции к активации близких элементов (Mednick, 1962; Mendelsohn, Griswold, 1966; Beeman et al., 1994; Faust, Lavidor, 2003; Jung-Beeman et al., 2004; Howard-Jones et al., 2005; Folley, Park, 2005; Stringaris et al., 2006).

Данные об относительной сохранности способности к разрешению конфликта между ответами (Verhaeghen, Cerella, 2002; Glisky, 2007; Gamboz et al., 2010; Dorbath et al., 2011) при заметном снижении ряда других флюидных процессов и рассматриваемая значимость процессов селекции информации в отношении креативного мышления позволяют сделать предварительное допущение, что селективные и контролирующие процессы могут использоваться в качестве резерва для поддержания эффективности творческой деятельности при старении. Усиление исполнительного контроля, на наш взгляд, может быть положительно связано с высокой оригинальностью у пожилых людей.

В рамках исследования влияния общего уровня способностей на креативное мышление мы рассмотрели значение IQ по тесту Айзенка, который говорит как об интеллекте, так и о характеристиках скорости обработки информации и рабочей памяти. Мы предполагаем, что уровень интеллекта будет иметь большее значение для эффективности вербального дивергентного мышления у пожилых по сравнению с молодыми испытуемыми.

Также мы исследовали самооценку испытуемых относительно их стремления к познанию нового и интереса к устройству вещей. Согласно нашему предположению, стремление к исследовательской активности может способствовать большему разнообразию подходов к решению проблем, что будет являться специфическим фактором поддержания творческой продуктивности в старшей возрастной группе.

***

Таким образом, анализ современного состояния проблемы эффективности творческого мышления при старении свидетельствует о возможности сохранения этой способности в пожилом возрасте. Исходя из того, что вербальные способности наименее подвержены возрастному снижению, для изучения нейрофизиологических механизмов сохранения креативного потенциала при старении представляется целесообразным рассматривать вербальную креативность.

Одним из ярких и достоверно подтвержденных возрастных изменений когнитивных процессов является их замедление при старении. Это подчеркивает необходимость рассмотрения разных этапов креативного процесса и временной динамики изменений активности мозга при изучении механизмов, лежащих в основе креативного мышления в молодом и пожилом возрасте. Хотя электрофизиологические корреляты креативности и структуры мозга, ассоциированные с творческим мышлением, широко изучаются на молодых людях, практически отсутствуют аналогичные исследования, проведенные на пожилых испытуемых, а также сравнение нейрофизиологических механизмов креативного мышления у молодых и пожилых людей. Относительная сохранность способности к селекции информации позволяет предположить, ее использование в качестве резерва для поддержания продуктивности творческой деятельности в пожилом возрасте.

В соответствии с этим, целью настоящего исследования было сравнение 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.

ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 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. Для участия в исследовании не допускались люди с неврологическими, психическими и серьезными соматическими заболеваниями. Все испытуемые были праворукими согласно опроснику Аннет (Annett, 1970) и имели нормальное или скорректированное до нормального зрение.

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, заполнения личностных опросников.

Все испытуемые дали информированное согласие на участие в эксперименте, исследование было одобрено Этическим комитетом НИИФФМ.

2.2 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 движение 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.

Схема эксперимента изображена на Рисунке 1.

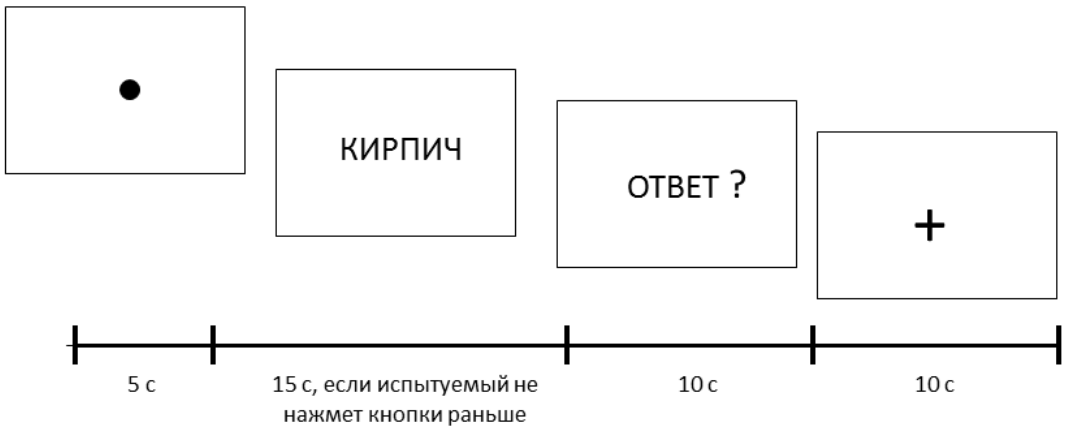

Рисунок 1. Схема временной последовательности предъявления стимулов в экспериментальной пробе для стимульного слова «Кирпич». Точка в центре экрана – предъявление точки фиксации взгляда, крестик – время отдыха между пробами.

2.3 ЭЭГ исследование

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 через пакет «Automatic Artifact Removal (AAR) toolbox v1.3» в программном обеспечении MATLAB (Gómez-Herrero, 2007). Оставшиеся артефакты удаляли с помощью метода независимых компонент с использованием пакета EEGLAB (http://www.sccn.ucsd.edu/eeglab/).

Анализ ЭЭГ данных

Исследовали начальный, средний и завершающий периоды решения дивергентной задачи, которые по данным литературы соответствуют стадиям первичной актуализации ассоциаций (Qiu et al., 2008; Zhao et al., 2011), поиску решения, оценке созданной креативной идеи (Kröger et al., 2012; Rutter et al., 2012; Kröger et al., 2013). Обоснование временных параметров выделенных интервалов приведено в обзоре литературы (раздел 1.3.2).

На начальном и завершающем этапах решения задачи в качестве предстимульного использовали интервал 1500 мс до предъявления задания, на среднем этапе - 2000 мс (Рисунок 2).

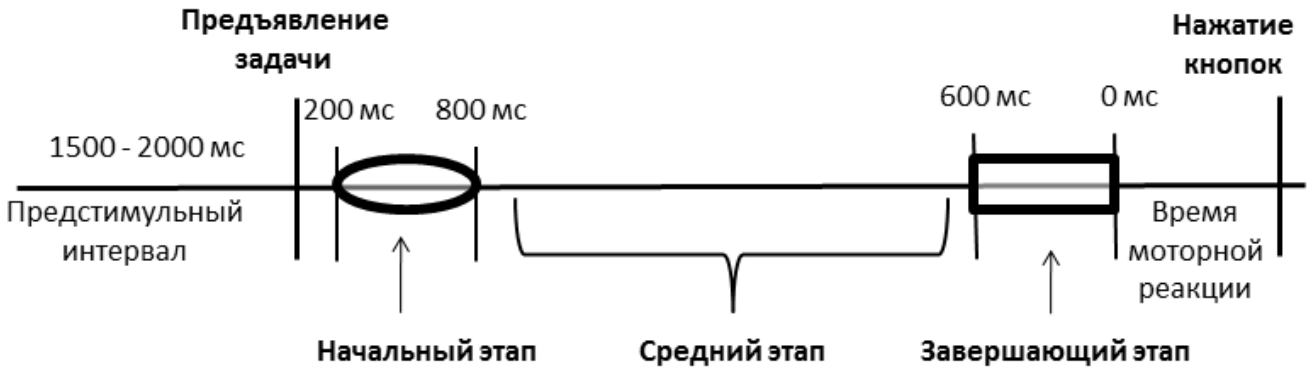

Рисунок 2. Предстимульный и тестовые интервалы, выделенные для анализа. Начальный этап, от 200 до 800 мс после предъявления задачи; средний этап, от 800 мс до начала завершающего этапа; завершающий этап, 600 мс перед нулевой точкой отсчета, которая отстояла от нажатия на кнопку на время индивидуальной 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 M=20.7 в МВГ и M=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 (Klimesch, 1999, Clark et al., 2004), частотные диапазоны для всех видов анализа определяли относительно индивидуального пика частоты альфа ритма (ИПЧА) в париетально-окципитальных отведениях (P_7, P_5, P_3, P_1, PO_7, PO_5, PO_3, O_1 в левом и симметричные электроды в правом полушарии, а также

центральные электроды P_z, PO_z, O_z): 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). Показатели ИПЧА для СВГ и МВГ указаны в Таблице 1.

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 к мощности в 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 2).

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). В основе алгоритма лежит предположение о том, что регистрируемая с поверхности черепа ЭЭГ генерируется синхронизированными постсинаптическими потенциалами больших нейронных популяций, т.е. соседние воксели имеют максимально аналогичную электрическую активность (Pascual-Marqui, 2002). В sLORETA используется трехслойная сферическая модель головы, соотнесенная с оцифрованным атласом Talairah and Tournoux (1998, Brain Imaging centre, Montreal Neurological Institute). Область локализации ограничена областью серого вещества коры и гиппокампа, пространственное разрешение при рассмотрении 6 239 вокселей составляет 5 мм. Фактор регуляризации был установлен на уровне 1/100 (Congedo, 2006).

С помощью sLORETA 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.

2.4 Психометрическое тестирование

Исследование возрастной специфики вклада в креативность психометрических показателей, связанных с исполнительными функциями и мотивацией к поисковой активности, проводилось с использованием описанных ниже методик. Обоснование выбора данных индикаторов приведено в обзоре литературы (глава 1.7).

Тест интеллекта

Показатели генерализованного интеллекта определяли с помощью теста Айзенка, включающего вербальные, образные, арифметические задания, время выполнения задания было ограничено 30 минутами (Айзенк, 1972).

Тест систем внимания

Стимульный материал теста систем внимания ANT (Attention network Test, (Fan et al., 2002)) состоит из ряда 5 горизонтальных черных линий: целевым стимулом всегда является центральная стрелка (указывающая направо или налево), фланговые стимулы могут быть представлены отрезками (нейтральное условие) или стрелками, сонаправленными центральной (конгруэнтное условие) или имеющими противоположное направление (неконгруэнтное условие). Задачей испытуемого в тесте является указание направления центральной стрелки с помощью нажатия на одну кнопку при правостороннем направлении и другую - при левостороннем. Каждому предъявлению стимула предшествовало предъявление центральной точки фиксации взгляда на (400-1600 мс) затем на 100 мс предъявлялся предупреждавший сигнал, за которым следовало предъявление целевого стимула. Вычисление времени реакции для всех ситуаций предъявления стимулов производилось на основе специально разработанной компьютерной программы (Суслов А.П., авт. свид. 2012617379).

Показатель исполнительного контроля (эффект разрешения конфликта) измеренный по количеству времени/по количеству ошибок рассчитывался как

среднее время реакции/количество ошибок при неконгруэнтном условии минус среднее время реакции/количество ошибок при конгруэнтном условии.

Время реакции при конгруэнтном и нейтральном условиях использовалось для расчета индивидуального времени моторной реакции.

Личностный опросник аффективной нейронауки

7 шкал Личностного опросника аффективной нейронауки (Affective Neuroscience Personality Scales, ANPS (Davis et al., 2003) рассматривают ключевые компоненты эмоционального опыта, которые отражают активность подкорковых эмоциональных систем мозга. Для оценки мотивационного компонента творческой активности мы выбрали шкалу «Поиск». Она оценивает глубину таких внутренних переживаний человека, как чувство любопытства, исследования, поиска решения задач и пазлов, принятие интеллектуального вызова и потребность объяснять, как работают вещи, и лежит в основе открытости опыту в модели личности «Большой Пятерки» Голдберга (Davis et al., 2003). Итоговые баллы по шкале начисляются по ответам на 14 вопросов.

2.5 Статистический анализ данных

Анализ спектральной мощности ЭЭГ

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 такими показателями как оригинальность и уровень образования использовали метод

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

sLORETA

Статистический анализ показателей реактивности плотности 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 этапов решения задачи 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.

Анализ поведенческих данных

Статистический анализ психометрических показателей (оригинальность, время решения дивергентной задачи, трудность и интерес, исполнительный контроль (измеренный по количеству времени и по количеству ошибок), интеллект, показатели шкалы «Поиск») проводили с помощью дисперсионного и регрессионного анализа в программе STATISTICA. Для исполнительного контроля, измеренного по количеству ошибок, в связи с отличным от нормального распределением значений, применяли непараметрический критерий Краскела — Уоллиса. После применения коррекции на множественные сравнения Бонферрони был установлен уровень статистической значимости p=0.006 (8 переменных). Оценку величины эффекта проводили с помощью показателя d Коэна (Cohen’s d) с использованием (Soper, 2017). 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.

ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Возрастные различия в показателях решения дивергентной задачи

Пожилые испытуемые по сравнению с молодыми быстрее выполняли задание и субъективно оценивали его как более легкое. Возрастные группы не отличались по показателю оригинальности (молодые испытуемые набрали больше баллов, однако различия не достигли уровня статистической значимости) и по интересу к заданию (Рисунок 3, Таблица 1).

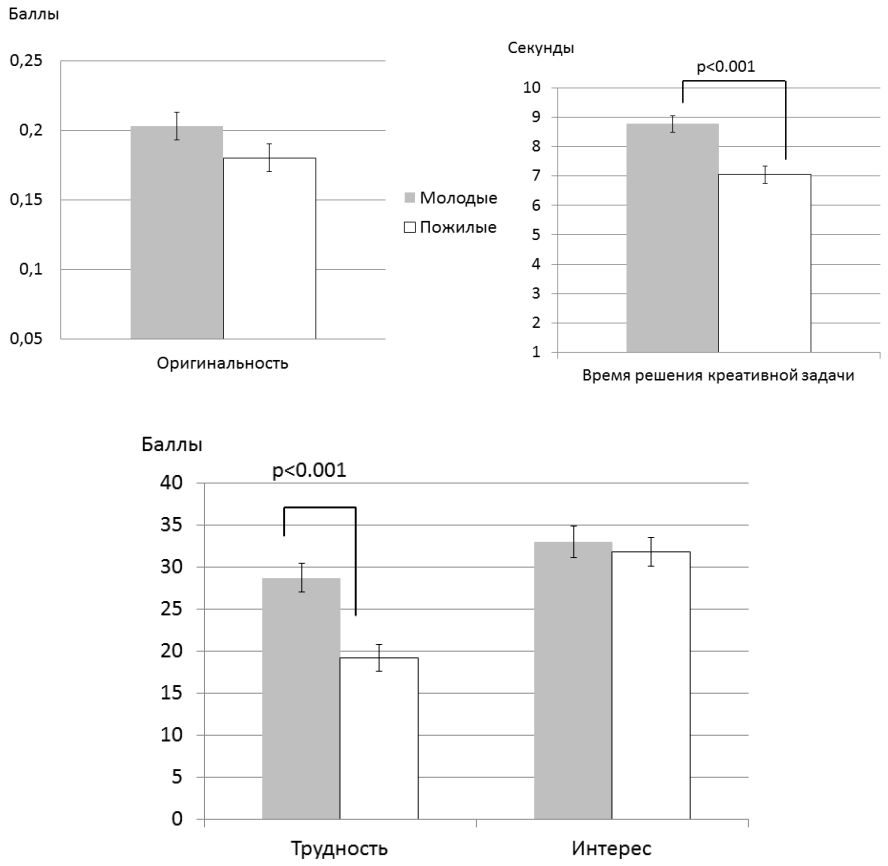

Рисунок 3. Средние значения (M±SE) по показателям решения дивергентной задачи «Необычное использование предмета» у молодых и пожилых испытуемых.

3.2 Возрастные различия в ЭЭГ данных во время решения вербальной дивергентной задачи

3.2.1 Предстимульный временной интервал

Спектральная мощность в предстимульном интервале

Для анализа возрастных различий в предстимульном интервале был проведен ANOVA мощности 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 различия, опосредованные фактором возраста. Значимыми были взаимодействие факторов ДИАПАЗОН * ВОЗРАСТ ($F(5, 815)=8.8$; $p<0.0001$ с поправкой Гринхауза-Гейзера) и более сложное взаимодействие ДИАПАЗОН * ОБЛАСТЬ * ВОЗРАСТ ($F(15, 2445)=8.635$; $p<0.0001$ с поправкой Гринхауза-Гейзера), которое мы рассмотрим более подробно. В СВГ по сравнению с МВГ обнаружена более высокая мощность бета 1 ритма в ФЦ, ЦП, Т областях ($p<0.01$) и бета 2 ритма в ФЦ и ЦП областях ($p<0.01$). Выявлены достоверные возрастные различия в соотношении мощности ФЦ и ПО областей ($p<0.01$) в альфа 2 ритме и в соотношении областей ФЦ и ЦП ($p<0.005$), ФЦ и ПО ($p<0.001$) - в альфа 3 ритме (Рисунок 4).

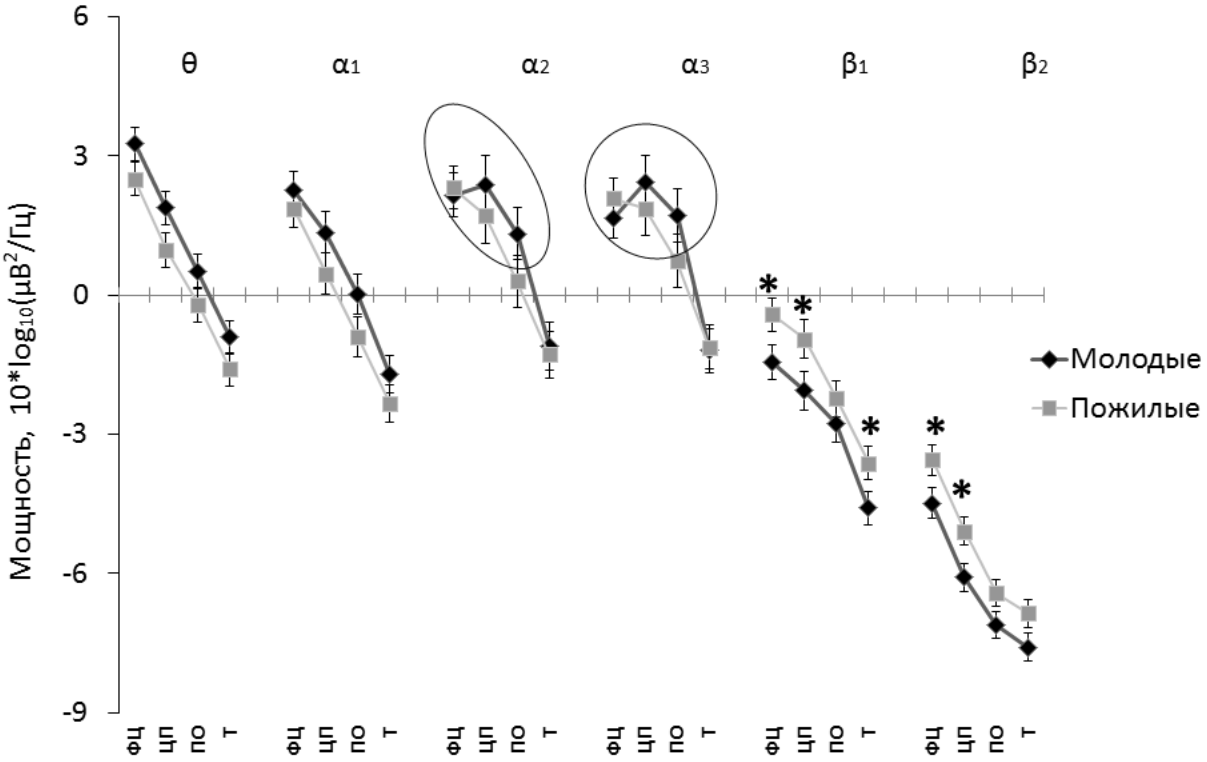

*Рисунок 4. Особенности спектральной мощности (M±SE) у молодых и пожилых испытуемых в предстимульный интервал. ФЦ – фронтально-центральная, ЦП – центрально-париетальная, ПО – париетально-окципитальная, Т – темпоральная области; * - p<0.01. Эллипсами отмечены возрастные различия во фронтально-париетальном и фронтально-окципитальном градиенте.*

Локализация плотности источников тока в предстимульном интервале

С помощью sLORETA были выявлены различия в осцилляторной активности мозга, записанной в предстимульном интервале, между молодыми и пожилыми испытуемыми на частотах тета, бета 1 и бета 2 ритмов. Испытуемые СВГ по сравнению с МВГ имели более низкие значения плотности источников тока с максимальными различиями в передней цингулярной (ПБ 24, 32) и медиальной фронтальной извилинах (ПБ 6, 8, 9) билатерально в тета диапазоне ($t<-7$; $p<0.0003$), а также более высокую плотность источников тока с локализацией наибольшего эффекта в левой префронтальной коре (ПБ 10, верхняя

и средняя фронтальные извилины) как в бета 1 ($t>4.78$; $p<0.001$), так и в бета 2 ($t>4.07$; $p<0.01$) ритмах (Рисунок 5).

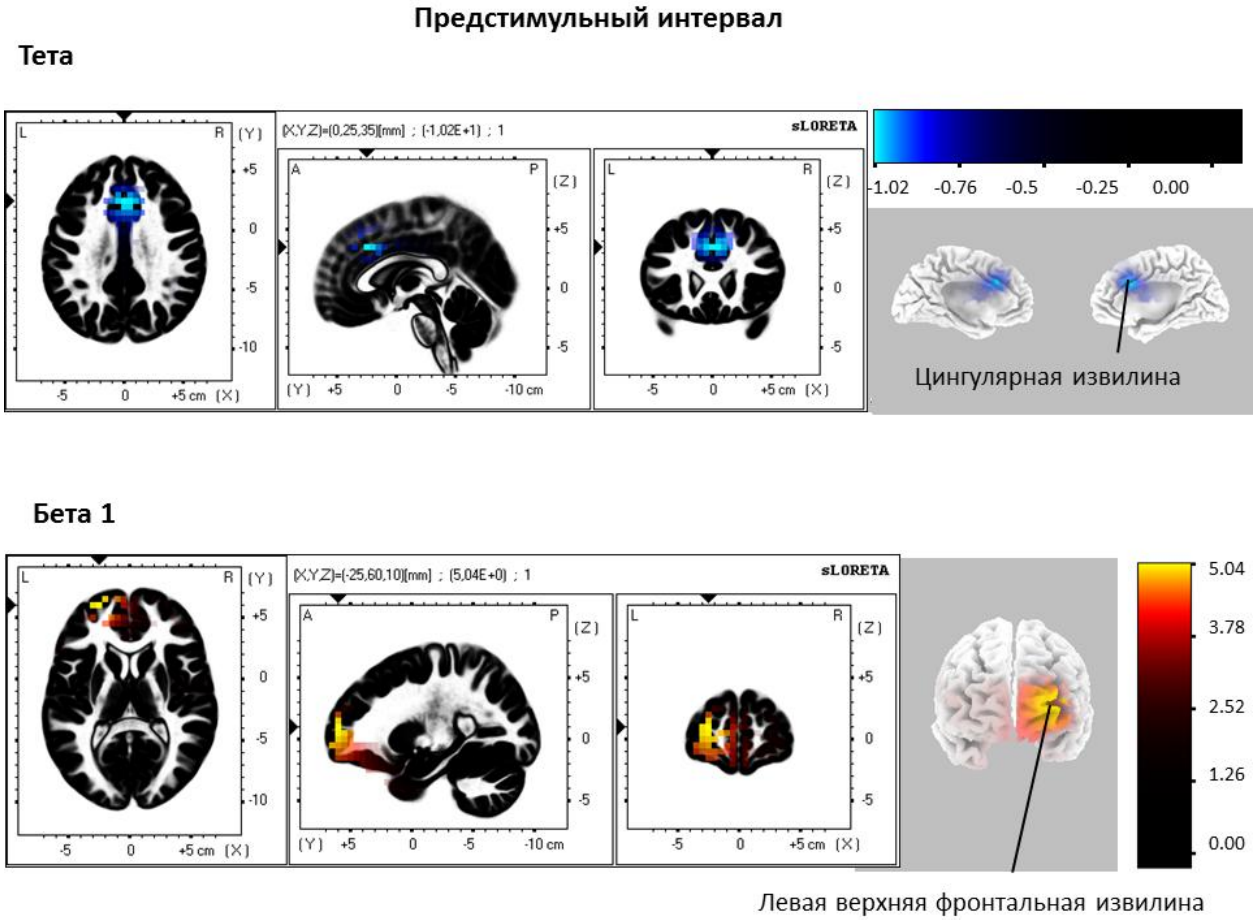

Рисунок 5. Возрастные различия в плотности источников тока в предстимульный временной интервал. В тета ритме голубые тона обозначают негативные значения Т-критерия (индикаторы ниже у пожилых, чем у молодых испытуемых). В бета 1 ритме желтые тона обозначают позитивные значения Т-критерия (индикаторы выше у пожилых, чем у молодых испытуемых). Паттерн активации в бета 2 ритме повторяет паттерн в бета 1 ритме.

3.2.2 Начальный этап решения задачи

Реактивность спектральной мощности

Был проведен ANOVA 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).

Показана значимость главных эффектов диапазона, области, времени, однако все эти факторы входили в значимые взаимодействия, которые мы рассматриваем ниже.

Выявлено статистически значимое взаимодействие факторов ВРЕМЯ * ДИАПАЗОН ($F(10, 1560)=16.31$; $p<0.0001$ с поправкой Гринхауза-Гейзера), которое входило в юолее сложное взаимодействие ВРЕМЯ * ДИАПАЗОН * ОРИГИНАЛЬНОСТЬ ($F(10, 1560)=2.38$; $p<0.03$ с поправкой Гринхауза-Гейзера). Выявлена более сильная ERD у НО испытуемых по сравнению с ВО в 400-600 мс после предъявления задачи на частоте альфа 1 ($p<0.004$) и альфа 2 диапазонов ($p<0.002$). Также в альфа 2 ритме у НО испытуемых наблюдалось уменьшение ERD с 2-го до 3-го временного интервала ($p<0.0001$) при отсутствии временной динамики у ВО и достоверные различия между ВО и НО испытуемыми в степени изменения реактивности мощности в эти временные интервалы ($p<0.01$) (Рисунок 6).

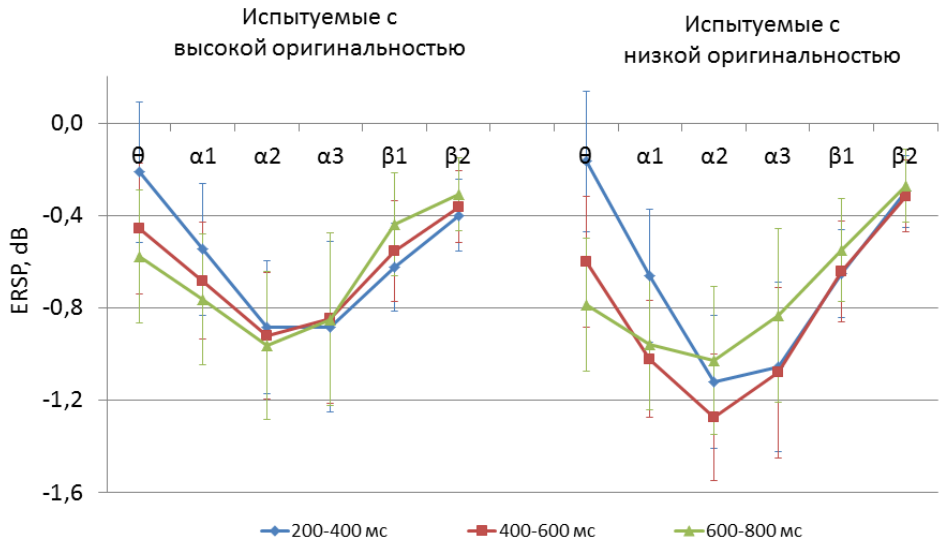

Рисунок 6. Временная динамика реактивности мощности (M±SE) в зависимости от диапазона для участников с высокой и низкой оригинальностью (в 200-400 мс, 400-600 мс, 600-800 мс после предъявления задачи).

Взаимодействие факторов ДИАПАЗОН * ОБЛАСТЬ ($F(15, 2340)=8.67$; $p<0.001$ с поправкой Гринхауза-Гейзера) входило в более сложное значимое взаимодействие факторов ДИАПАЗОН * ВРЕМЯ * ОБЛАСТЬ * ВОЗРАСТ ($F(30, 4680)=1.86$; $p<0.03$ с поправкой Гринхауза-Гейзера). В тета диапазоне конечный уровень десинхронизации в ФЦ и ЦП областях был достигнут в 400-600 мс в МВГ и превышал уровень десинхронизации в этот временной интервал в СВГ. Для СВГ в тета ритме 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 7).

В альфа 3 частотном диапазоне выявлены значимые возрастные различия в изменениях десинхронизации в ПО области со 2-го по 3-ий временной интервал, в основе которых лежит значимое уменьшение альфа 3 десинхронизации в ПО области по сравнению с более ранними временными интервалами только в СВГ (Рисунок 7).

В МВГ анализ корреляций показал отсутствие связи между реактивностью мощности и показателями решения задачи. 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) (Рисунок 8).

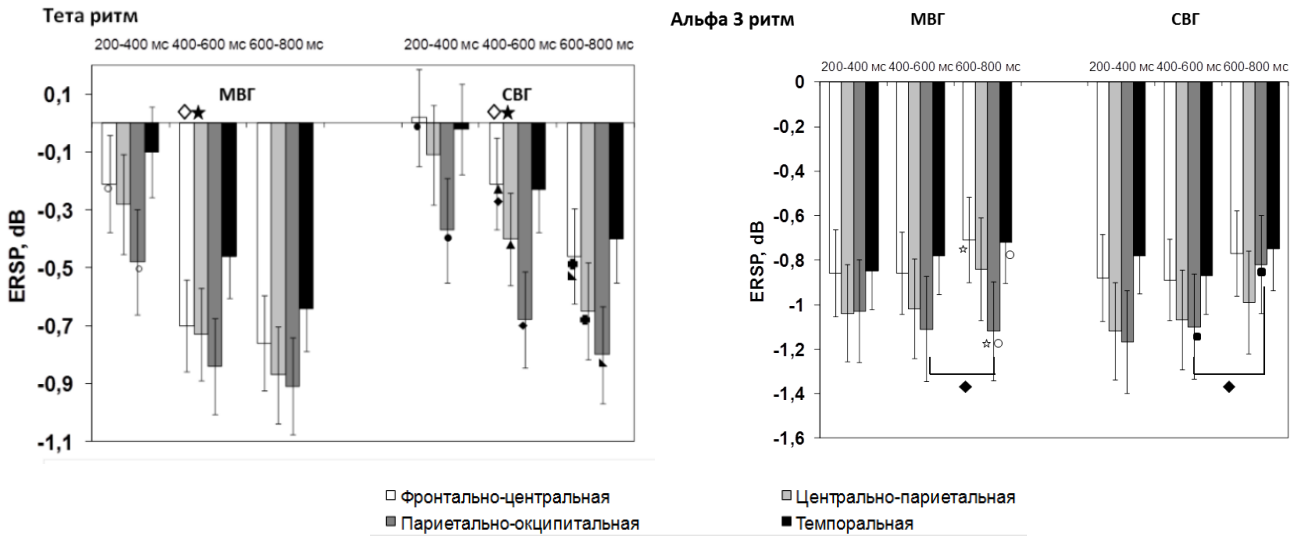

Рисунок 7. Региональные особенности динамики изменений ERSP (M±SE) в тета и альфа 3 частотном диапазоне у молодых и пожилых испытуемых (в 200-400 мс, 400-600 мс, 600-800 мс после предъявления задачи). Одинаковыми значками обозначены статистически значимые различия между соответствующими показателями (p<0.01).

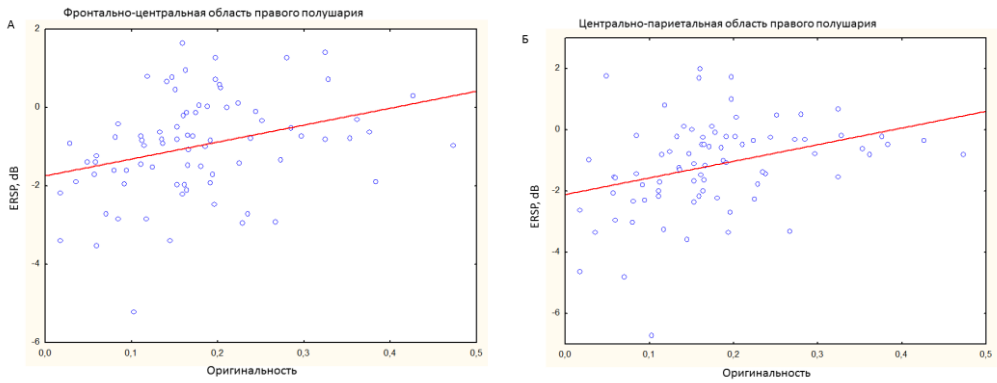

Рисунок 8. Корреляции между показателями оригинальности и ERSP в альфа 3-ритме во фронтально-центральной (А) и центрально-париетальной (Б) областях правого полушария в 400-600 мс после предъявления стимульного слова у пожилых испытуемых.

Реактивность плотности источников тока

Исходя из результатов дисперсионного анализа о наличии возрастных различий в электрической активности мозга в тета частотном диапазоне во временном интервале 400-600 мс после предъявления дивергентной задачи, мы проанализировали локализацию данного эффекта с помощью sLORETA.

Большая плотность источников тока в тета ритме в СВГ по сравнению с МВГ была наиболее выражена ($t>4.9$; $p<0.0008$) в таких структурах левого полушария как задняя часть нижней фронтальной извилины (ПБ 44, ПБ 9), прецентральная извилина (ПБ 4, ПБ 6, ПБ 43), инсула (ПБ 13), а также в структурах правого полушария: передней части нижней фронтальной извилины (ПБ 47), верхней темпоральной извилине (ПБ 38) (Рисунок 9).

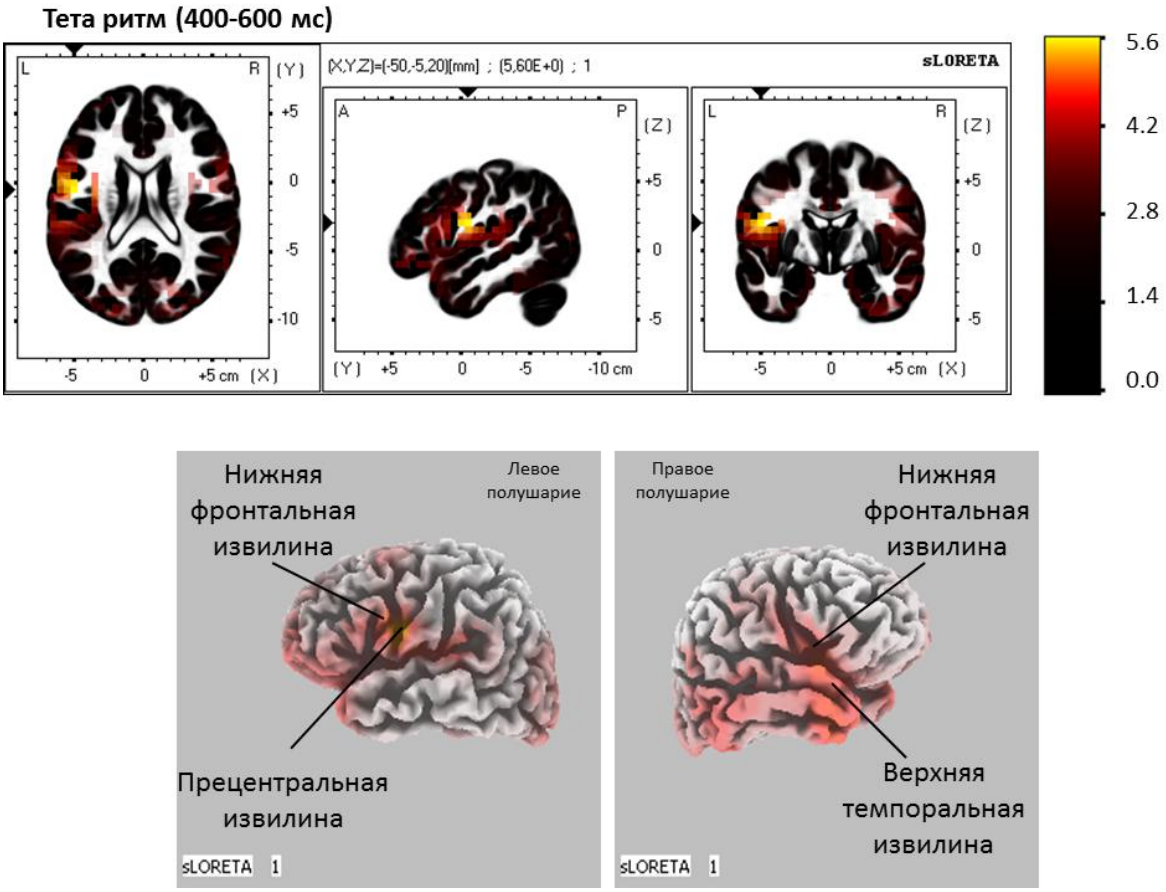

Рисунок 9. Возрастные различия в локализации реактивности плотности источников тока в тета ритме во временной интервал 400-600 мс после предъявления дивергентной задачи. Цветом обозначены области, в которых плотность источников тока в старшей возрастной группе больше по сравнению с аналогичными показателями в младшей.

3.2.3 Средний этап решения задачи

Реактивность спектральной мощности

Был проведен ANOVA реактивности мощности ЭЭГ с выделением факторов: ВОЗРАСТ (МВГ и СВГ) * ОРИГИНАЛЬНОСТЬ (ВО, НО) *ДИАПАЗОН (6 индивидуальных частотных диапазонов)* ОБЛАСТЬ (4 области) * ЛАТЕРАЛЬНОСТЬ (правое, левое полушарие).

Из главных эффектов обнаружена значимость факторов диапазона, области, латеральности. Однако все эти факторы входили в значимые взаимодействия, которые мы рассмотрим ниже.

В основе статистически значимого взаимодействия ДИАПАЗОН * ЛАТЕРАЛЬНОСТЬ ($F(5, 815)=3.19$; $p<0.01$ с поправкой Гринхауза-Гейзера) лежал более высокий уровень показателей реактивности мощности в правом полушарии по сравнению с левым в альфа 1, альфа 2 и бета 1 диапазонах ($p<0.001$) (Рисунок 10).

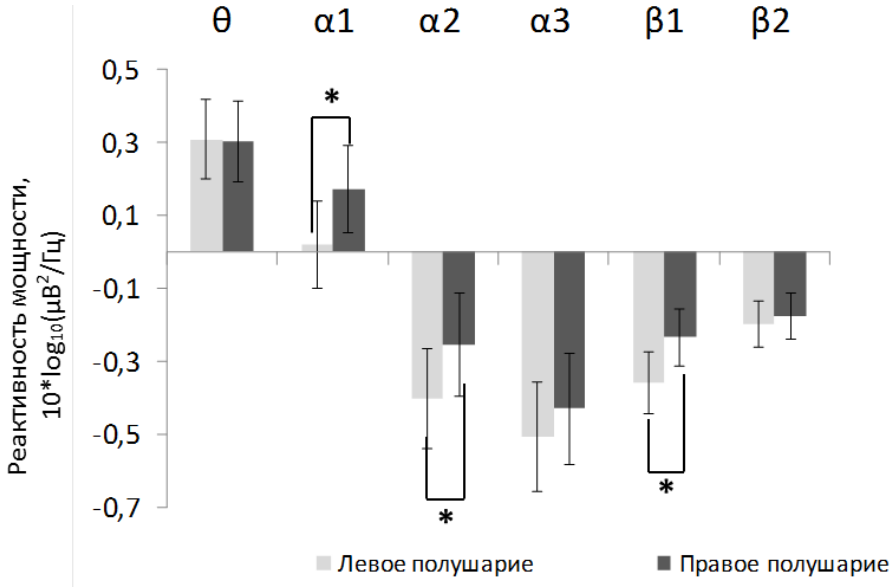

*Рисунок 10. Значения реактивности мощности (M±SE) в левом и правом полушариях на среднем этапе решения дивергентной задачи. * -p<0.001.*

Было выявлено значимое взаимодействие факторов ДИАПАЗОН*ОБЛАСТЬ ($F(15, 2445)=5.4$; $p<0.001$ с поправкой Гринхауза-Гейзера) и ДИАПАЗОН *ВОЗРАСТ $F(15, 815)=2.75$; $p<0.03$ с поправкой Гринхауза-Гейзера), однако они входили в более сложное взаимодействие ДИАПАЗОН * ОБЛАСТЬ* ВОЗРАСТ ($F(15, 2445)=3$; $p<0.001$ с поправкой Гринхауза-Гейзера) (Рисунок 11). В СВГ по сравнению с МВГ выявлен больший уровень десинхронизации бета 1 ритма в ПО области ($p<0.01$) и близкий к статистически значимому в ЦП области ($p=0.018$).

Выявлены также возрастные различия в соотношении реактивности мощности между ЦП и ПО областями в альфа 2 ритме ($p<0.01$) и между ЦП, Т и ПО областями – в альфа 3 ритме ($p<0.001$).

Для испытуемых обоих возрастов была выявлена ERS на частоте тета диапазона и ERD на частотах альфа 2, альфа 3, бета 1, бета 2 ритмов. В СВГ синхронизация альфа 1 ритма наблюдалась во всех отделах мозга, тогда как в МВГ только в ПО области.

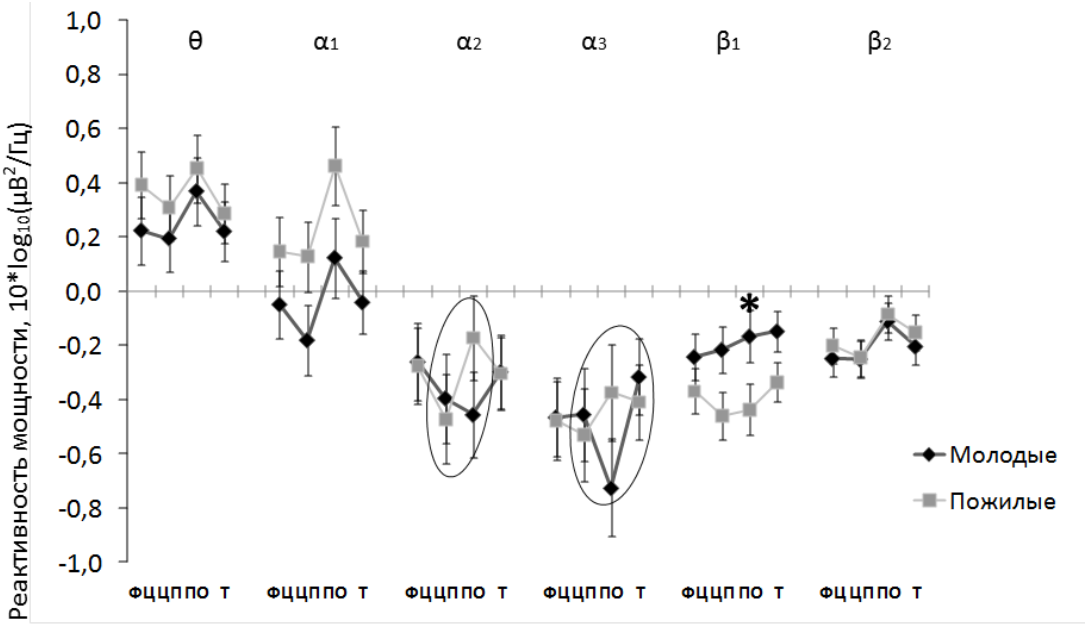

*Рисунок 11. Реактивность спектральной мощности (M±SE) у молодых и пожилых испытуемых на среднем этапе решения дивергентной задачи. ФЦ – фронтально-центральная, ЦП – центрально-париетальная, ПО – париетально-окципитальная, Т – темпоральная области; * - p<0.01. Эллипсами отмечены возрастные различия в центрально-окципитальном и темпорально-окципитальном градиенте.*

Статистически значимое взаимодействие ДИАПАЗОН * ВОЗРАСТ * ОРИГИНАЛЬНОСТЬ ($F(5, 815)=3.46$; $p<0.01$ с поправкой Гринхауза-Гейзера) объяснялось различиями в альфа 1 ритме. ERS в СВГ ВО была достоверно выше, чем в СВГ НО ($p<0.01$) и в МВГ ВО ($p<0.001$) (Рисунок 12).

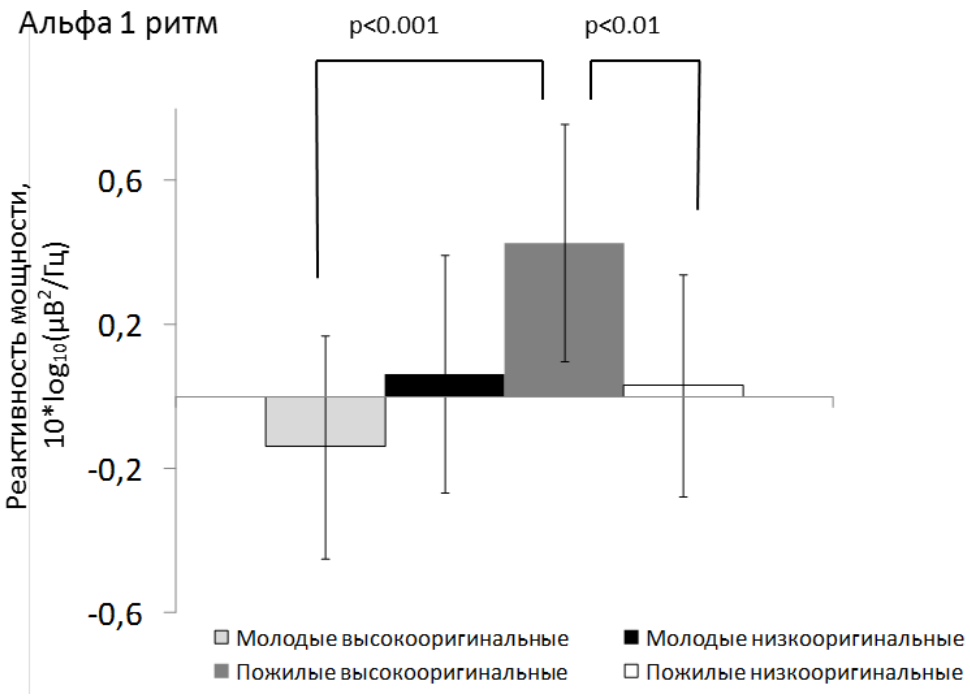

Рисунок 12. Средние значения реактивности мощности (M±SE) в альфа 1 ритме на среднем этапе решения дивергентной задачи.

Реактивность плотности источников тока

На основе данных ANOVA мы исследовали локализацию различий между пожилыми и молодыми испытуемыми на среднем этапе решения дивергентной задачи в бета 1 частотном диапазоне. Согласно sLORETA в СВГ по сравнению с МВГ выявлена меньшая плотность источников тока в бета 1 ритме с локалзацией наиболее сильных различий ($t<-5$; $p<0.0003$) в прецентральной (ПБ 4, 6), постцентральной (ПБ 3), цингулярной (ПБ 31, 24), медиальной и верхней фронтальных извилинах (ПБ 6, 32), парацентральной дольке (ПБ 5, 31) билатерально (Рисунок 13).

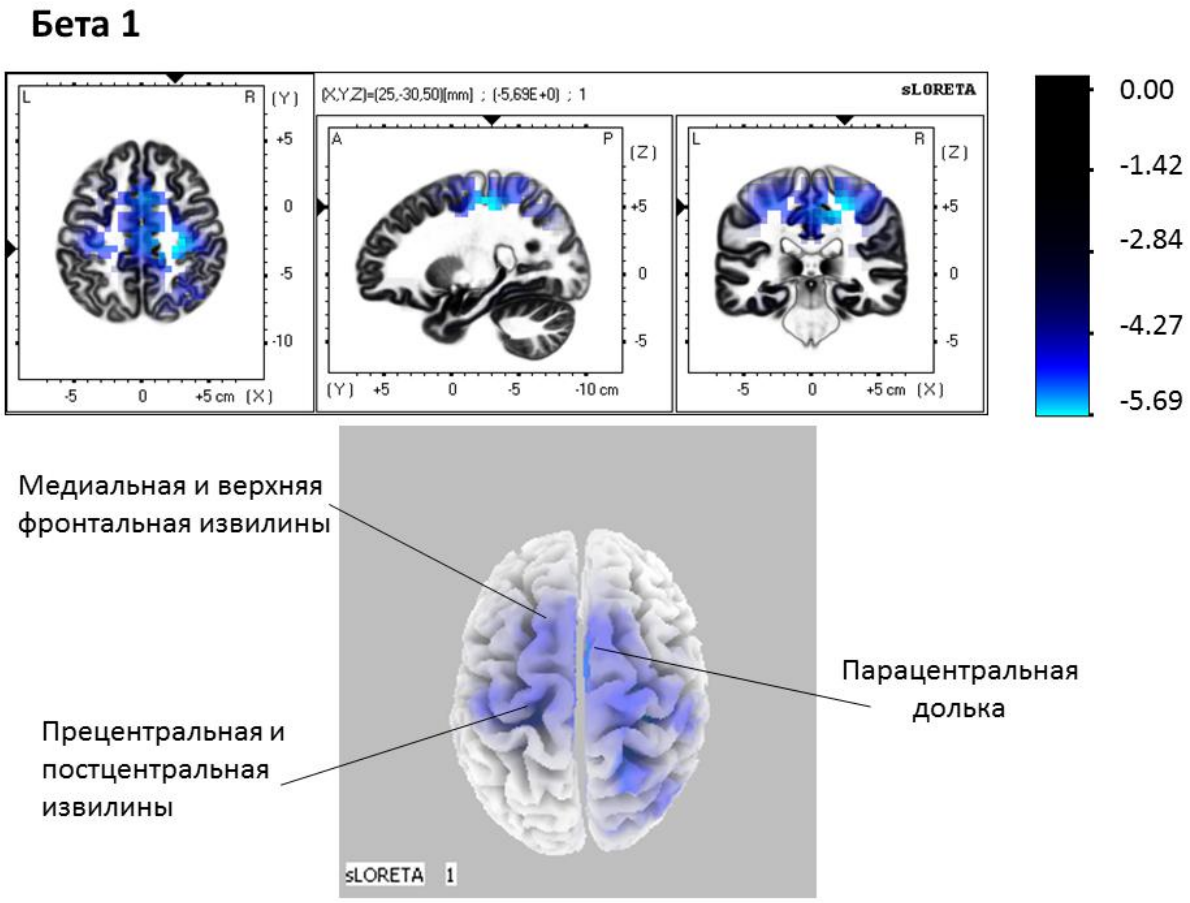

Рисунок 13. Возрастные различия в локализации реактивности плотности источников тока в бета 1 ритме на среднем этапе решения дивергентной задачи. Цветом обозначены области, в которых плотность источников тока в старшей возрастной группе меньше по сравнению с аналогичными показателями в младшей.

3.2.4 Завершающий этап решения 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). Из главных эффектов обнаружена значимость факторов времени, области, диапазона. Однако все эти факторы входили в значимые взаимодействия, которые мы рассмотрим ниже.

В основе значимого взаимодействия ДИАПАЗОН*ВРЕМЯ ($F(5, 815)=30.3$; $p<0.001$ с поправкой Гринхауза-Гейзера) лежал более высокий уровень значений ERSP в интервал от -600 до -300 мс по сравнению с последующим временным интервалом. Временной паттерн был характерен для всего диапазона частот, однако, наибольшая степень изменений от 1-го ко 2-му интервалу анализа наблюдалась в тета ритме (Рисунок 14).

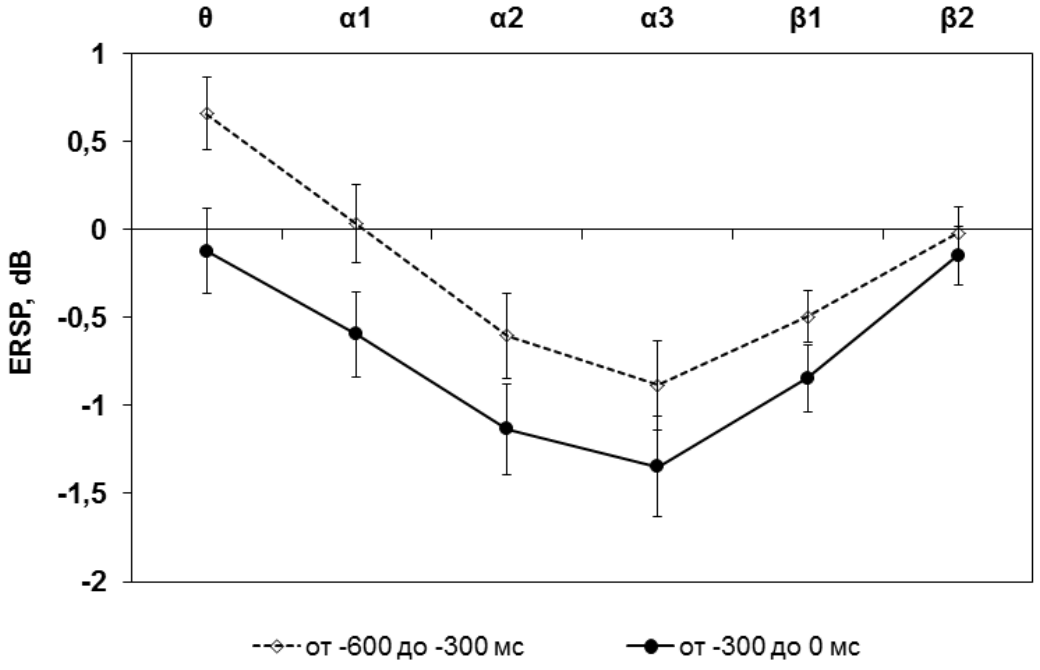

Рисунок 14. Временная динамика ERSP (M±SE) для всех испытуемых (временные интервалы от -600 до -300 мс и от -300 до начала формирования моторного ответа, сигнализирующего о нахождении решения).

Были выявлены не зависящие от временной динамики статистически значимые взаимодействия факторов ДИАПАЗОН*ОБЛАСТЬ ($F(15, 2445)=12.8$; $p<0.001$ с поправкой Гринхауза-Гейзера), ДИАПАЗОН*ВОЗРАСТ ($F(5, 815)=10.3$; $p<0.001$ с поправкой Гринхауза-Гейзера), ОБЛАСТЬ*ВОЗРАСТ ($F(3, 489)=4.3$; $p<0.02$ с поправкой Гринхауза-Гейзера), однако они входили в более сложное взаимодействие ДИАПАЗОН*ОБЛАСТЬ*ВОЗРАСТ ($F(15, 2445)=2.9$; $p<0.003$ с поправкой Гринхауза-Гейзера) (Рисунок 15). 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 ($p<0.0001$), за счет того, что в МВГ наибольшие значения ERSP наблюдались в ПО области, а в СВГ наименьшие значения в ЦП области (при отсутствии различий в других областях).

В альфа 2, 3 ритмах для всех испытуемых наблюдалась наибольшая десинхронизация в ЦП области по сравнению с другими областями. В бета 2 диапазоне наибольшие значения были характерны для ПО области по сравнению с другими областями.

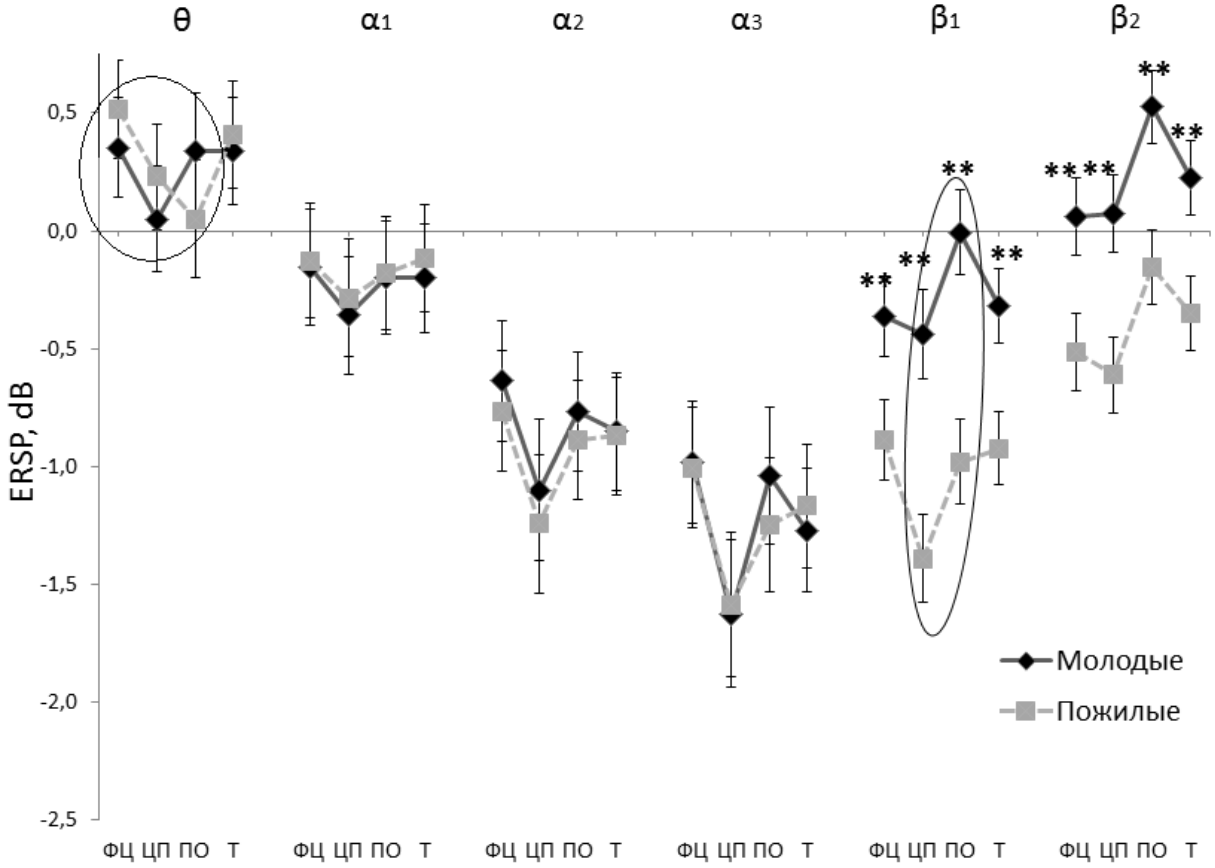

*Рисунок 15. Средние значения ERSP (M±SE) у молодых и пожилых испытуемых на завершающем этапе решения дивергентной задачи. ФЦ – фронтально-центральная, ЦП – центрально-париетальная, ПО – париетально-окципитальная, Т – темпоральная области; ** - p<0.001. Регионально специфичные возрастные эффекты отмечены эллипсом.*

Реактивность плотности источников тока

Дальнейшее исследование локализации возрастных эффектов проводили с помощью парных сравнений между СВГ и МВГ в тета, бета 1, 2 ритмах во временном интервале от -600 до -300 мс до формирования моторного ответа, как наиболее свободном от моторных компонентов.

В СВГ по сравнению с МВГ выявлена большая плотность источников тока в тета ритме, достигавшая максимальных значений ($t>4.73$; $p<0.001$) в передней цингулярной извилине билатерально (ПБ 32, 24) и правой средней лобной извилине (ПБ 9) (Рисунок 16 А).

Большая десинхронизация бета 1 ритма в СВГ по сравнению с МВГ была локализована преимущественно в задних отделах мозга с наиболее сильными различиями ($t<-7$; $p<0.0003$) в задней части цингулярной извилины (ПБ 31, 23, 24), предклинье (ПБ 31, 23, 24), париетальной доле (верхняя париетальная долька – ПБ 7 и левая нижняя париетальная долька – ПБ 40), также в постцентральной извилине (ПБ 40, 3, 7) и парацентральной дольке (ПБ 5, 31) (Рисунок 16 Б).

Аналогично возрастным различиям в бета 1 частотном диапазоне, в СВГ по сравнению с МВГ выявлена большая ERD бета 2 ритма, максимальная ($t<-7$; $p<0.0003$) в предклинье (ПБ 7, 31), верхней париетальной дольке (ПБ 7, 5), задней части цингулярной извилины (ПБ 31), а также в постцентральной извилине (ПБ 40, 3, 7) (Рисунок 16 В). Как в бета 1, так и в бета 2 ритмах возрастные различия были широко представлены в окципитальных структурах: клин, веретенообразная и язычковая извилины (ПБ 17, 18, 19).

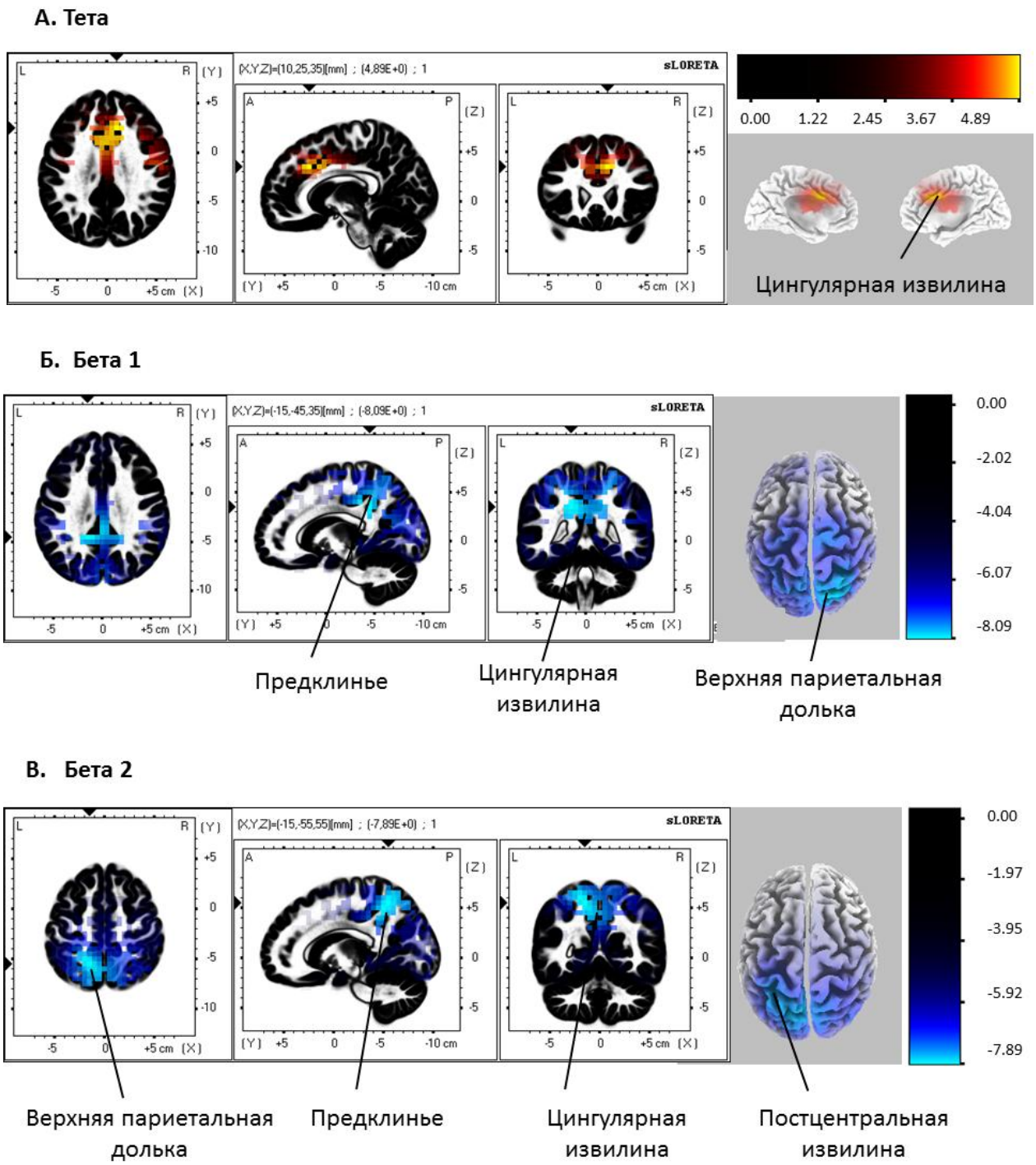

Рисунок 16. Возрастные различия в локализации реактивности плотности источников тока в тета и бета ритмах на завершающем этапе решения дивергентной задачи. Цветом обозначены области, в которых плотность источников тока в старшей возрастной группе больше (А) и меньше (Б, В) по сравнению с аналогичными показателями в младшей.

Расчет коэффициентов корреляции между значениями плотности источников тока и такими показателями как оригинальность и уровень образования показал достоверные связи только на частоте бета 2 диапазона. В МВГ более высокие баллы по оригинальности сопровождались большими значениями реактивности плотности источников тока в бета 2 ритме в предклинье ($r>0.38$; $p<0.05$; ПБ 7) (Рисунок 17 А). В СВГ более высокий уровень образования сочетался с большими значениями реактивности плотности источников тока в бета 2 ритме ($r>0.36$; $p<0.05$) в верхней и средней правых фронтальных извилинах (ПБ 10, 11) и клине (ПБ 18, 19) (Рисунок 17 Б).

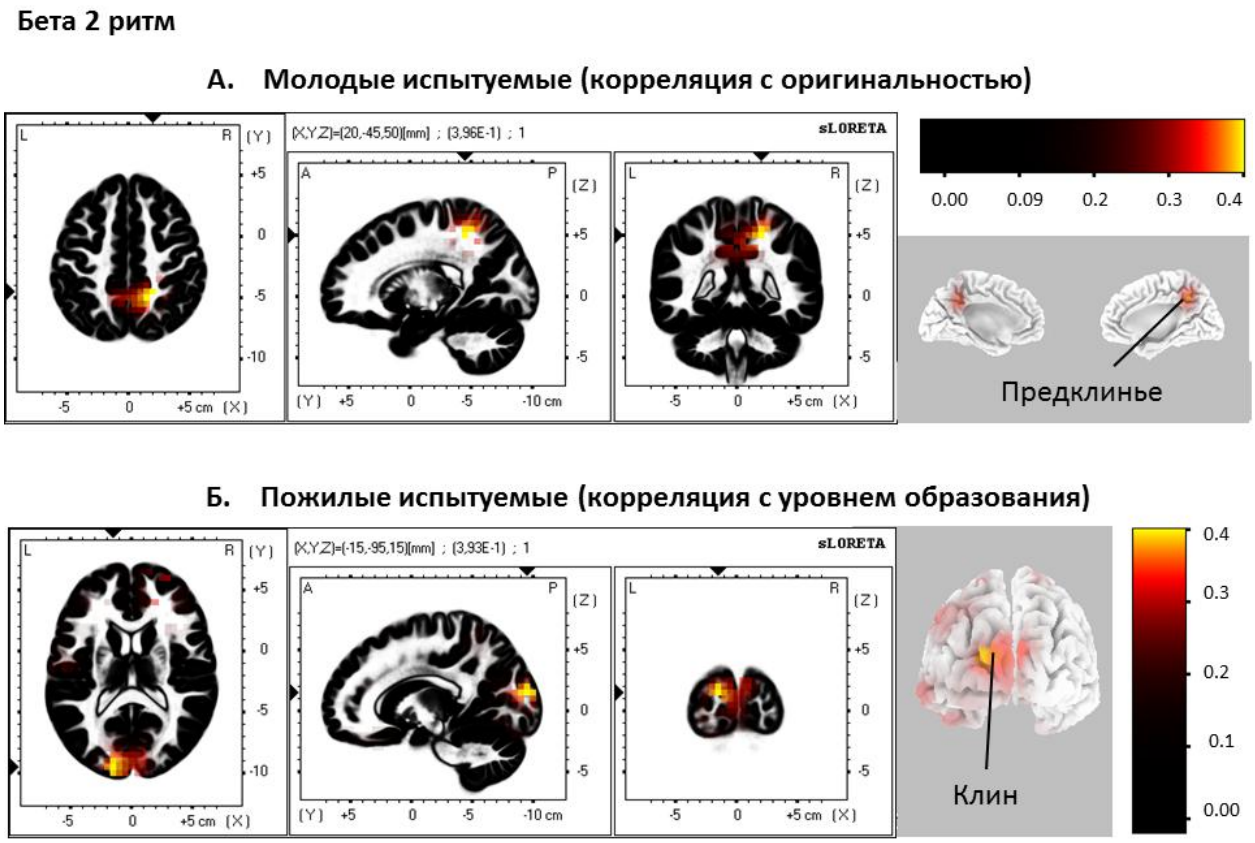

Рисунок 17. Корреляционные связи на завершающем этапе решения задачи. Цветом обозначен размер положительной корреляции между плотностью источников тока в бета 2 ритме и баллами по оригинальности у молодых (А) и уровнем образования у пожилых (Б) испытуемых.

3.3. Психометрические результаты

Возрастные различия в психометрических и социальных характеристиках

Возрастные группы не отличались по показателям исполнительного контроля, измеренного по времени и количеству ошибок (Chi-Square=1.1, df=1, p=0.29). Баллы по тесту IQ и по шкале «Поиск» были достоверно выше в МВГ, чем в СВГ. По сравнению с пожилыми, молодые испытуемые имели более низкий уровень образования, поскольку большинство участников МВГ на момент исследования еще не закончили высшее образование, в то время как большинство испытуемых СВГ имели высшее образование и часть из них - ученую степень доктора наук (Таблица 1).

	Молодые	**Пожилые**	**Возрастные различия**	
	M (SD)	**M (SD)**	**p**	**Cohen's d**
Возраст	22.53 (3.09)	63.87 (6.49)		
Образование (годы)	14.37 (0.79)	15.75 (2.53)	p<0.001	0.74
Индивидуальный пик частоты альфа ритма (Гц)	10.16 (0.78)	9.78 (0.8)	p<0.002	0.48
Оригинальность (баллы)	0.2 (0.09)	0.18 (0.08)	p=0.074	0.25
Скорость решения креативной задачи (с)	8.77 (2.48)	7.05 (2.8)	p<0.001	0.65
Трудность (баллы)	28.67 (11,8)	19.15 (13.26)	p<0.001	0.76
Интерес (баллы)	33.03 (13.76)	31.78 (14.3)	p=0.63	0.09
Моторная реакция, RT (с)	280.13 (45.15)	343.22 (51.48)	p<0.001	1.3
Когнитивный контроль (мс)	95.01 (35.64)	104.71 (39.41)	p=0.1	0.23
Интеллект (баллы)	114.51 (12.14)	102.06 (11.55)	p<0.001	1.05
«Поиск» (баллы)	41.17 (4.97)	37.87 (3.33)	p<0.001	0.78

Таблица 1. Социальные характеристики и результаты тестирования у молодых и пожилых испытуемых.

Регрессионный анализ предикторов оригинальности

Для определения вклада психометрических индикаторов в показатель средней оригинальности был выполнен регрессионный анализ с их пошаговым включением в уравнение, отдельно для молодых и пожилых испытуемых (Таблица 2). Предварительный анализ корреляционных связей между предикторами показал их отсутствие в МВГ и значимые корреляции в СВГ между IQ и шкалой «Поиск» ($r=0.29$, $p<0.001$), между IQ и исполнительным контролем, измеренным по количеству времени ($r=-0.29$, $p<0.02$), между обоими показателями исполнительного контроля ($r=0.29$, $p<0.02$). Ввиду слабости связей все психометрические индикаторы вошли в модель в качестве независимых переменных.

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». Поскольку вклад предиктора IQ уменьшился после введения новой переменной в модели 4, его влияние на оригинальность может быть частично обусловлено действием общей переменной - шкалой «Поиск». Для проверки этого предположения мы построили модель, взяв в качестве зависимой переменной индикатор IQ, а оба показателя исполнительного контроля и «Поиск» в качестве предикторов. Обнаружено, что быстродействие исполнительного контроля и мотивация к поиску вносят положительный вклад в IQ, объясняя 15% дисперсии интеллекта в СВГ. Структура влияния предикторов приведена в Рисунке 18.

Предикторы оригинальности	Beta	t	p
Модель 1 (МВГ) $F_{1,53}$=7.37, R^2=0.12, p<0.009			
Исполнительный контроль (ошибки)	0.35	2.71	0.009

Предикторы оригинальности	Beta	t	p
Модель 2 (СВГ) $F_{1,73}$=11, R^2=0.13, p<0.001			
IQ	0.36	3.32	0.001
Модель 3 (СВГ) $F_{2,72}$=9, R^2=0.2, p<0.003			
IQ	0.34	3.2	0.002
Исполнительный контроль (ошибки)	-0.26	-2.48	0.016
Модель 4 (СВГ) $F_{3,71}$=6.92, R^2=0.23, p<0.004			
IQ	0.29	2.63	0.01
Исполнительный контроль (ошибки)	-0.26	-2.46	0.016
Поиск	0.17	1.56	0.12

Предикторы интеллекта	Beta	t	p
Модель 5 (СВГ) $F_{2,72}$=7.37, R^2=0.15, p<0.001			
Поиск	0.29	2.72	0.008
Исполнительный контроль (мс)	-0.29	-2.66	0.01

Таблица 2. Характеристики значимых регрессионных моделей.

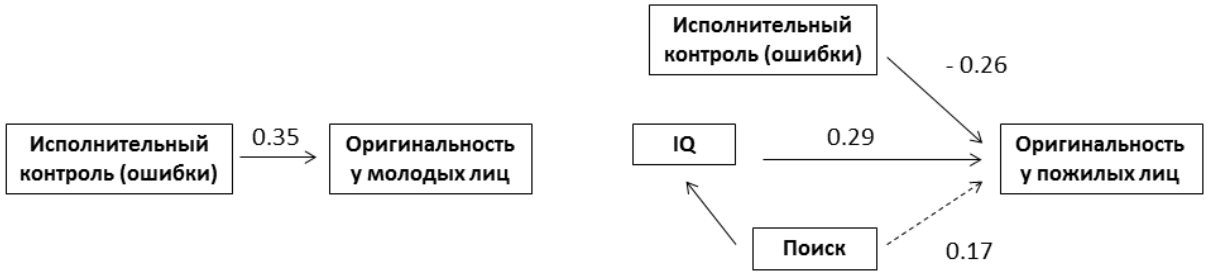

Рисунок 18. Схематичное изображение влияния предикторов на оригинальность согласно полученным статистически значимым регрессионным моделям. Цифрами обозначены значения бета-коэффициентов, сплошными линиями – статистически значимые корреляции между переменными.

ГЛАВА 4 ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

4.1 Возрастные различия в показателях решения дивергентной задачи

Продолжение профессиональной деятельности, высокий уровень образования, которые являются индикаторами когнитивного резерва (Stern, 2002; Scarmeas et al., 2004), и сохранные исполнительные функции у пожилых участников нашего исследования позволяют отнести их к представителям успешного ментального старения. По результатам дисперсионного анализа в нашем исследовании отсутствовали статистически значимые различия в оригинальности между пожилыми и молодыми испытуемыми. Согласно руководству Кохена, который выделяет 3 категории величины эффекта (слабый эффект при d=0.2; средний при d=0.5; сильный при d=0.8 (Cohen, 1988)), величина эффекта возрастных различий в уровне оригинальности d=0.246 является слабой.

Таким образом, наше исследование возрастных различий в выполнении теста вербального дивергентного мышления «Необычное использование предмета» с участием ментально здоровых, работающих пожилых людей показало сопоставимую с молодыми испытуемыми эффективность по такому качественному показателю, как оригинальность ответов. Наши данные подтверждают сделанный рядом исследователей вывод о сохранности креативного потенциала при старении (Leon et al., 2014; Palmiero et al., 2014; Madore et al., 2016). Основываясь на том факте, что исследования, зафиксировавшие возрастное снижение креативности, являются более ранними по сравнению с работами, показавшими сохранную эффективность выполнения творческих заданий, разнонаправленность результатов можно отчасти объяснить характеристиками выборок, т.е. более высоким психофизиологическим статусом

пожилых испытуемых в современных работах. Действительно, согласно современным литературным данным параметры вербальной креативности позитивно коррелируют с индикаторами когнитивного резерва (Palmiero et al., 2016).

Обнаруженный нами парадоксальный факт более быстрого и легкого решения задачи в СВГ, в то время как снижение скорости обработки информации в пожилом возрасте является общепризнанным явлением (Baltes et al., 1999), соответствует нашему предположению об использовании пожилыми участниками специфических когнитивных стратегий. На наш взгляд, эти результаты согласуются с гипотезой (Seligman et al, 2016), согласно которой люди старшего возраста успешно используют во время творческой деятельности мышление по аналогии и эвристики, которые ограничивают перебор вариантов и позволяют менее трудозатратно и более быстро приходить к продуктивному решению проблем (Peters et al., 2000; Baron, 2008; Seligman et al, 2016).

Сопоставимый уровень эффективности в решении креативной задачи позволяет сделать вывод, что выявленные нами различия в осцилляторной активности мозга между пожилыми и молодыми участниками отражают не различия в оригинальности, но проявление специфических для возрастных групп стратегий решения задачи.

4.2 Осцилляторная активность мозга во время решения вербальной дивергентной задачи и ее специфика у молодых и пожилых испытуемых

4.2.1 Предстимульный временной интервал

Результаты электроэнцефалографических исследований свидетельствуют, что фоновая осцилляторная активность мозга изменяется при старении. При физиологическом старении отмечается уменьшение медленноволновой корковой активности наряду с увеличением мощности быстрых ритмов (Babiloni et al., 2006; Cummins, Finnigan, 2007; Gaál et al., 2010; Leirer et al., 2011; Вольф, Глухих, 2011; Vlahou et al., 2014). Наши данные о меньшей плотности источников тока на частоте тета ритма, а также большей мощности и большей плотности источников тока в широком бета диапазоне, подтверждают типичные для пожилых людей особенности фоновой активности мозга.

Возрастные различия в тета и их левополушарная локализация в бета 1, 2 ритмах выявлены только с помощью sLORETA, что может объясняться различными способами обработки и анализа ЭЭГ данных. При проведении ANOVA исследование влияния большого количества независимых переменных побудило нас объединить электроды в группы, соответствующие всего лишь 8 областям мозга, таким образом, в данном анализе отсутствовал четкий пространственный паттерн. Кроме того, непараметрические перестановочные тесты, реализованные в sLORETA, более чувствительны к локальным эффектам, чем дисперсионный анализ, используемый при анализе ЭЭГ на уровне отведений (Friston, 1997).

Результаты дисперсионного анализа мощности в фоновом интервале и реактивности мощности на трех этапах решения дивергентной задачи

продемонстрировали отличающиеся паттерны возрастных различий. Анализ реактивности плотности источников тока в sLORETA выявил, что на завершающем этапе решения задачи возрастные различия в тета ритме являются отражением таковых в предстимульном интервале. Обсуждение этого эффекта вошло в обсуждение ЭЭГ результатов на заключительном этапе решения задачи (раздел 4.2.4).

4.2.2 Начальный этап решения задачи

Общие для всех испытуемых характеристики ЭЭГ

Согласно результатам дисперсионного анализа реактивности мощности, в 200-800 мс после предъявления дивергентной задачи наблюдалась общая для испытуемых обеих возрастных групп временная динамика осцилляторной активности мозга, опосредованная уровнем оригинальности. Выявлено постепенное усиление десинхронизации тета ритма с временного интервала 200-400 мс по интервал 600-800 мс. Показано, что тета десинхронизация наблюдается при отвлечении внимания от нерелевантных стимулов (Kawamata et al., 2007), торможении процесса обработки информации в рабочей памяти при ее удержании (Khursheed et al., 2011) и переходе к внутреннему фокусу внимания (Афтанас, 2000; Вольф, Тарасова, 2012). Таким образом, общегрупповой эффект углубления десинхронизации тета ритма показывает, что начальный этап решения задачи «Необычное использование предмета» может быть отражением указанных процессов.

Показанное универсальное для всех испытуемых углубление десинхронизации с временного интервала 200-400 мс по интервал 400-600 мс на частоте альфа 1, 2 диапазонов может быть отражением общих процессов

активации сразу после предъявления задачи (Pfurtscheller, 2001; Pfurtscheller, 2003). Однако с временного интервала 400-600 мс по интервал 600-800 мс углубление ERD альфа ритмов останавливается, напротив, отмечается увеличение мощности альфа 3 ритма, что говорит о важности процессов альфа синхронизации на более поздних временных интервалах. Прекращение снижения мощности альфа ритма с 400-600 мс по 600-800 мс может означать последующее большее привлечение специфических для креативности процессов селекции информации, контролируемого семантического доступа в долговременную память (Klimesch, 2012; Jaarsveld et al., 2015) и повышению уровня внутреннего внимания (Cooper et al., 2003). Обнаруженный в нашей работе факт, что уже в 400-600 мс ВО по сравнению с НО испытуемыми демонстрируют более высокие показатели реактивности мощности альфа 1, 2 ритмов указывает, что наиболее ранние более высокие показатели альфа мощности способствуют высокой оригинальности. Это согласуется с множеством нейрофизиологических данных о значимости большей синхронизации или меньшей десинхронизации альфа ритма во время решения творческих задач (Benedek et al., 2011; Benedek et al., 2014B; Fink, Benedek, 2014A).

Возрастные различия в осцилляторной активности мозга

Исследование показало, что начальный этап решения задачи связан у молодых и пожилых испытуемых со специфическими прстранственно-временными паттернами реактивности ЭЭГ на частотах тета и альфа 3 ритмов.

Выявлена более слабая тета десинхронизация в передних областях мозга в 400-600 мс после предъявления задачи в СВГ по сравнению с МВГ, что может быть следствием дополнительного задействования процессов синхронизации на частоте тета диапазона у пожилых испытуемых. Применение метода sLORETA позволило определить пространственный паттерн, в частности, полушарную специфику выявленных с помощью ANOVA различий между СВГ и МВГ в реактивности мощности тета ритма в этот временной интервал. Возрастные различия в левом полушарии обусловлены большей плотностью источников тока (меньшей ERD тета ритма) в СВГ по сравнению с МВГ преимущественно в таких

областях как прецентральная и нижняя фронтальная извилины, инсула, а в правом полушарии – таких структурах как верхняя темпоральная и нижняя фронтальная извилины.

Активация левой нижней фронтальной извилины отмечается в работах, исследующих отличительные особенности дивергентного мышления по отношению к конвергентному (Abraham et al., 2012Б; Abraham, 2014; Benedek et al., 2014B). Согласно исследованиям с использованием фМРТ, эта структура активирована во время реализации функций контроля, например, регуляторных и исполнительных аспектов семантической обработки (извлечение, селекция и манипуляция семантической информацией) (Binder, Desai, 2011; Whitney et al., 2012; Jefferies, 2013). Левая нижняя фронтальная извилина вовлекается также во время дивергентного мышления, что показывает высокое значение контролируемой селекции слабо связанных семантических концептов для создания креативной идеи (Abraham, 2014; Benedek et al., 2014B). Ряд исследователей отмечает, что эта структура также участвует в обеспечении процесса выхода за границы привычных концептуальных структур, чтобы включить необычные или новые ассоциации (Abraham et al., 2012Б; Kröger et al., 2012; Rutter et al., 2012). Эти данные позволяют предположить у пожилых лиц большее вовлечение процессов семантического контроля, для которого характерна активация нижней фронтальной извилины левого полушария. В СВГ уже на раннем этапе решения задачи, в 400-600 мс после ее предъявления, наблюдается контролируемый доступ и селекция семантической информации, которые, вероятно, направлены на поиск и отбор необычных ассоциаций.

Меньшая десинхронизация тета ритма была также обнаружена в СВГ по сравнению с МВГ в темпоральной доле преимущественно правого полушария, наибольшие возрастные различия выявлены в правых верхней темпоральной и нижней фронтальной извилинах. По мнению большинства исследователей, семантическая память опирается на широкую нейронную сеть обоих полушарий мозга, хотя роль левого полушария более изучена (Binder, Desai, 2011). В свете современных представлений функциональное значение темпоральных отделов

заключается в конвергенции входящей перцептивной, эмоциональной, моторной информации, а также хранении репрезентаций на абстрактном уровне (Binder, Desai, 2011). При этом левое полушарие больше специализируется на обработке близких лексико-семантических отношений, в то время как правое полушарие имеет тенденцию к обработке слабо связанных семантических ассоциаций (Federmeier, Kutas, 1999; Forgács et al., 2014). Для осуществления творческого мышления ключевое значение имеет комбинирование концептов, которые кажутся на первый взгляд несовместимыми (Dietrich, 2004) и лежащий в его основе процесс актуализации отдаленных ассоциаций (Mednick, 1962; Benedek et al., 2012; Benedek, Neubauer, 2013). На нейробиологическом уровне эти процессы часто связывают с обработкой информации в правом полушарии (Gold et al., 2012; Lindell, 2014). В реализации описанных выше правополушарных семантических процессов, согласно недавнему мета анализу на основе 17 исследований понимания метафор, ведущую роль играют фронто-темпоральные области правого полушария, а именно нижняя и средняя фронтальные извилины, верхняя и средняя темпоральные извилины, инсула (Yang, 2014). Эти данные позволяют предположить, что показанная в настоящей работе меньшая десинхронизация на частоте тета диапазона в правом полушарии в СВГ по сравнению с МВГ, локализованная в верхней темпоральной и нижней фронтальной извилинах, также связана с активацией отдаленных семантических связей и широких семантических полей у испытуемых старшего возраста.

Однако, ввиду отсутствия жестких корреляций между характеристиками ЭЭГ и метаболической активностью мозга, можно с осторожностью соотносить данные фМРТ исследований со структурами, для которых были показаны различия в локализации плотности источников тока в нашей работе. С другой стороны, анализ частотных составляющих осцилляторной активности мозга представляет возможность соотнести полученные возрастные эффекты с функциональным значением частотных диапазонов ЭЭГ.

Повышение мощности тета ритма ассоциируется с реализацией процессов кодирования и извлечения информации (Klimesch et al., 1996; Bastiaansen et al.,

2005), а также когнитивного контроля (Pastötter et al., 2013; Cohen, 2014; Van Driel et al., 2015). Исследования вербального дивергентного мышления с помощью ЭЭГ без выделения временных периодов выявили, что преобладающим изменением на частоте тета диапазона является синхронизация ритма, особенно во фронтально-темпоральных электродах (Бехтерева и др., 2003; Тарасова и др., 2006; Razumnikova, 2007). Согласно анализу Доннера и Сигеля, подавление мощности низких частот ассоциировано с локальной нейронной обработкой, в то время как для процессов интеграции характерны длинные нейронные взаимодействия, сопровождающиеся увеличением мощности низкочастотных ритмов (Donner, Siegel, 2011). Таким образом, показанные в нашем исследовании большие значения плотности источников тока в низкочастотной тета активности в СВГ по сравнению с МВГ могут свидетельствовать, что пожилые участники уже на ранних этапах решения задачи переходят к ассоциированным с синхронизацией тета ритма процессам комплексной интеграции информации, которые показаны во время решения дивергентных задач вербального типа. Необходимость в актуализации более широкого круга ассоциаций («расширения концепта») является основным отличием первой секунды решения вербальной дивергентной задачи по сравнению с решением конвергентных задач, которые обычно применяют для изучения процессов обработки семантической информации (подбор подходящего по смыслу глагола или прилагательного к существительному, название картинки, относятся ли объекты к одной категории) (Abraham et al., 2012Б; Abraham, 2014). Это позволяет отнести характерные для СВГ процессы интеграции информации, выражающиеся в большей мощности тета ритма, к целенаправленной селекции информации и привлечению широких семантических сетей, что соответствует функциональному значению структур, для которых были показаны максимальные возрастные различия.

Таким образом, большая мощность тета ритма в СВГ по сравнению с МВГ в структурах, которые относятся к семантической нейронной сети, позволяет предполагать большее вовлечение таких семантических процессов, как контролируемый доступ к семантической информации и актуализация

отдаленных семантических связей, уже на раннем этапе решения вербальной дивергентной задачи (400-600 мс) у пожилых испытуемых.

Такое предположение подтверждается данными корреляционного анализа между показателями осцилляторной активности мозга и успешностью решения дивергентной задачи.

В то время как для всех испытуемых выявлена связь большей мощности альфа 1, 2 ритмов с высокой оригинальностью в рассматриваемом временном интервале (400-600 мс после предъявления задачи), только у пожилых испытуемых были обнаружены положительные корреляции значений ERSP на частоте альфа 3 ритма правого полушария с оригинальностью решений. Кроме указанной выше значимости синхронизации на частотах альфа диапазона для процессов селекции и подавления нерелевантной информации в ситуации с высокими требованиями к внутреннему вниманию (Cooper et al., 2003; Benedek et al., 2011; Benedek et al., 2014Г; Rominger et al., 2018), стоит отметить роль высокочастотного альфа ритма в обеспечении процессов семантической обработки информации (Klimesch, 1999; Klimesch et al., 2006). В то же время показано ключевое значение временного интервала 300-500 мс после предъявления задачи для поиска доминантных ассоциаций (Ivanitsky et al., 2001) и интеграции семантического контекста (Salisbury, Taylor, 2012); при оценке оригинальности чужих идей из теста «Необычного использования предмета» вызванный потенциал N400 отражал оценку семантической новизны (степень необычности ответа, не вписывающегося в систему знаний человека) (Kröger et al., 2013). Таким образом, выявленные корреляционные связи свидетельствуют, что у испытуемых старшей группы в интервале 400-600 мс одновременно с процессами первичной семантической обработки информации может происходить переход к селекции и исследованию ассоциаций.

О более раннем переходе от восходящих перцептивных процессов (bottom-up регуляция) к селективным процессам (top-down регуляция), имеющим более тесную связь с эффективностью дивергентного мышления, у пожилых по сравнению с молодыми испытуемыми говорят также данные по возрастным

различиям во временной динамике альфа 3 ритма. Только в СВГ в 600-800 мс по сравнению с более ранними временными интервалами показано увеличение альфа 3 мощности в ПО области на частоте альфа ритма, что связывают с торможением обработки иррелевантной перцептивной информации (Händel et al., 2011; Roux, Uhlhaas, 2014) с целью освободить нейронные ресурсы и поддержать значимые для выполнения задания процессы (Bonnefond, Jensen, 2012; Scheeringa et al., 2012; Payne, Sekuler, 2014).

На основании проведенного исследования можно заключить, что стадия первичного формирования ассоциаций во время решения вербальной дивергентной задачи характеризуется специфическими для каждой возрастной группы паттернами временной и пространственной организации осцилляторной активности мозга на частоте тета и альфа 3 ритмов; наиболее значимым с точки зрения возрастных различий оказался ранний временной интервал - 400-600 мс после предъявления задачи. Выявленные между пожилыми и молодыми лицами различия могут отражать более раннее включение селективных процессов, связанных с актуализацией и исследованием ассоциаций, в пожилом возрасте. Данная возрастная особенность может быть причиной обнаруженного в настоящем исследовании более быстрого решения задачи пожилыми по сравнению с молодыми людьми в условиях снижения скорости обработки информации при старении (Salthouse, 1996; Finkel et al., 2005).

4.2.3 Средний этап решения задачи

Общие для всех испытуемых характеристики ЭЭГ

Для всех испытуемых на среднем этапе решения дивергентной задачи выявлена синхронизация тета ритма. Это свидетельствует, что на

продолжительном этапе поиска решения задачи задействуются комплексные процессы извлечения и интеграции информации из памяти (Klimesch et al., 1996; Bastiaansen et al., 2005), манипуляции информацией в рабочей памяти (Bastiaansen et al., 2002; Sauseng et al., 2010), ее нисходящего контроля (Klimesch et al., 2008), и согласуется с данными других исследований осцилляторной активности мозга при выполнении вербальных креативных заданий (Бехтерева и др., 2003; Разумникова, Брызгалов, 2005; Тарасова и др., 2006; Razumnikova, 2007).

Обнаруженная в первую секунду выполнения задания ERD широкого альфа частотного диапазона стала более слабой, однако продолжилась также на последующем этапе поиска решения креативной задачи, что может свидетельствовать об аналитическом и логическом способе ее решения (Разумникова, 2009A ; Jung-Beeman et al., 2004; Bowden et al., 2005).

На частоте альфа 1 и альфа 2 ритмов выявлена межполушарная асимметрия с большими значениями мощности ритмов в правом полушарии по сравнению с левым. Как указывалось ранее, большая синхронизация (или меньшая десинхронизация) на этих частотах может быть связана с нисходящими процессами корковой регуляции, которая призвана обеспечить усиление внутреннего внимания для эффективного решения задачи (Benedek et al., 2014B; Fink, Benedek, 2014A). По мнению ряда исследователей, эти процессы максимально представлены в правом полушарии, темпоро-париетально-фронтальные структуры которого связаны с вентральной системой внимания (Corbetta, Shulman, 2002; Corbetta et al., 2008). Считается, что работа этой системы направлена на обнаружение неожиданных или редких релевантных для поведения стимулов и, таким образом, она включена в направляемый стимулами контроль внимания (Corbetta, Shulman, 2002; Petersen, Posner, 2012; Greene, Soto, 2014; Vossel et al., 2014).

Десинхронизацию на частотах бета диапазона ассоциируют с изменением текущего перцептивного или когнитивного состояния (Engel, Fries, 2010). В связи с этим, показанная в настоящей работе общая для всех испытуемых бета десинхронизация, может быть связана с процессами реструктурирования

информации во время поиска решения дивергентной задачи. Выявленная межполушарная асимметрия реактивности мощности бета 1 ритма с большей десинхронизацией в левом полушарии может отражать изменения во внутренней речи, которая сопровождает указанные процессы реструктурирования. Это предположение согласуется с выводами, к которым пришли Левис с коллегами в результате теоретического анализа ряда исследований по нейрофизиологии речевых функций. В рассмотренных этими авторами работах во время конструирования имеющей смысл репрезентации на уровне предложения формирование нейрокогнитивной сети проявлялось в основном на частоте бета 1 ритма и задействовало такие структуры левого полушария как темпоральная, верхняя фронтальная и париетальная кора (Lewis et al., 2015). При этом поддержание текущей нейрокогнитивной сети сопровождалось синхронизацией бета 1 ритма, в то время как при ее реструктуризации (изменения или проверки) появлялась десинхронизация.

Возрастные различия в осцилляторной активности мозга

Согласно дисперсионному анализу, в СВГ по сравнению с МВГ выявлена более сильная десинхронизация бета 1 ритма в центрально-париетально-окципитальных областях мозга. Анализ источников плотности тока позволил локализовать данный эффект в прецентральной и постцентральной извилинах, а также в срединной цингулярной коре.

Считается, что десинхронизация бета 1 ритма в моторных и премоторных областях отражает не только формирование моторного ответа (Болдырева и др., 2014; Iijima et al., 2015), но и обработку глаголов, которые обозначают движение и активность (van Elk et al., 2010), а также наблюдение за использованием предметов другими людьми (Järveläinen et al., 2004). Так, для верно решенных задач, в которых испытуемым требовалось определить последствия взаимодействия человека с предметом, была показана сильная десинхронизация сенсомоторного мю ритма (высокочастотного альфа и низкочастотного бета) (Pineda, Hecht, 2009). Бета десинхронизация выявляется также во время представления моторного действия в воображении (Васильев и др., 2016; Neuper

et al., 2006). Исследователям удалось определять латеральность воображаемого движения ноги у испытуемых с максимальной точностью в 81%, ориентируясь на показатели бета десинхронизации и последующего восстановления синхронизации (Hashimoto, Ushiba, 2013). На основании этих данных можно предположить, что пожилые участники нашего исследования в большей степени, чем молодые, используют представления о конкретных действиях человека с предметом во время решения дивергентной задачи, связанной с поиском необычного использования предмета. Это подтверждается данными томографических исследований относительно функционального значения прецентральной, постцентральной извилин и парацентральной дольки. Анализ сетей мозга как во время выполнения задания, так и в состоянии покоя позволил выделить дополнительную премоторную область, сенсомоторную и вторичную соматосенсорную кору в так называемую сенсомоторную систему (Beckmann et al., 2005; Smith et al., 2009). Многочисленные работы свидетельствуют, что активация премоторной, дополнительной моторной, цингулярной, париетальной коры наряду с базальными ганглиями и мозжечком наблюдается во время воображения действий так же, как и во время их выполнения (Седов и др., 2015; Hanakawa et al., 2003; Dechent et al., 2004). Более того, отмечается, что активация дополнительной моторной области является особенно информативным индикатором воображаемых действий (Park et al., 2015; Taube et al., 2015). Последний факт имеет для нас особое значение, поскольку дополнительная моторная область входит в состав парацентральной дольки, для которой показаны наиболее обширные возрастные различия в настоящей работе.

Возможно, стратегия решения теста «Необычное использование предмета» у пожилых участников опирается на достраивание цели, практического смысла действиям с предметом в большей степени, чем у молодых испытуемых.

Возрастные различия в осцилляторной активности мозга, связанные с уровнем оригинальности решений

Возрастные различия в реактивности мощности, опосредованные уровнем оригинальности, показаны в альфа 1 ритме. Альфа 1 синхронизация в ВО СВГ

была достоверно выше по сравнению как с ВО МВГ, так и с НО СВГ. В совокупности с данными на начальном этапе решения задачи, эти результаты подчеркивают большую важность альфа синхронизации для высокой оригинальности пожилых по сравнению с молодыми лицами. Основываясь на приведенных выше данных литературы (Klimesch et al., 2007; Händel et al., 2011; Bonnefond, Jensen, 2012; Klimesch, 2012), можно предположить, что высокооригинальные пожилые испытуемые во время поиска решения дивергентной задачи больше привлекают процессы контролируемого (и селективного) длительного доступа к долговременной памяти, что, видимо, является успешной возрастной стратегией.

Важно отметить, что данный эффект может быть обусловлен сознательным регулированием креативного мышления высокооригинальными пожилыми испытуемыми. Так, на группе молодых испытуемых было показано глобальное увеличение реактивности биопотенциалов тета 2 диапазона (соответствует альфа 1 ритму по использованной в нашей работе классификации частотных диапазонов) при обещании денежного вознаграждения за решение вербальной креативной задачи по сравнению со стандартной инструкцией, что говорит о роли альфа 1 синхронизации в произвольном повышении оригинальности креативных решений (Вольф, Тарасова, 2013).

4.2.4 Заключительный этап решения задачи

Общие для всех испытуемых характеристики ЭЭГ

В нашей работе показано, что осцилляторная активность мозга на заключительном этапе решения задачи имеет общие для всех испытуемых и зависимые от возраста особенности. Многие теоретические модели креативности

выделяют стадию усовершенствования и оценки идеи, которая завершает поиск креативного решения (Sowden et al., 2015). Анализ пространственно-временного паттерна осцилляторной активности мозга позволяет отнести наблюдаемые изменения ЭЭГ одновременно к процессам оценки созданной идеи, принятия решения об окончании поиска с одной стороны и необходимости организации моторного движения, сигнализирующего о нахождении решения, – с другой.

Во временной интервал от -600 до -300 мс (наиболее отставленном от моторного ответа) показана тета синхронизация, которую связывают с процессами рабочей памяти (Klimesch, 2012; Huang et al., 2013; Cavanagh, Frank, 2014; Spitzer et al., 2014; López-Loeza et al., 2016). Эти процессы могут активно привлекаться во время отбора и оценивания идеи.

Независимо от времени, для всех участников наибольшая ERD была обнаружена в центрально-париетальной области в альфа 2, 3 частотных диапазонах. Согласно данным литературы, подготовка произвольного движения проявляется в ERD мю ритма сенсомоторной коры, которая входит в центрально-париетальную область (Pineda, 2005; Bai et al., 2011). По мере приближения к завершению решения наблюдалось углубление ERD, что может говорить об усилении роли компонентов ЭЭГ, связанных с подготовкой сигнального моторного ответа. Таким образом, более поздний интервал анализа (от -300 до начала подголовки моторной реакции) менее связан с когнитивными компонентами решения дивергентной задачи по сравнению с предыдущим (от -600 до -300 мс) временным интервалом.

Возрастные различия в осцилляторной активности мозга

По результатам ANOVA осцилляции на частотах тета и бета диапазонов оказались подвержены влиянию фактора возраста. В тета ритме только в СВГ наблюдался выраженный фронтально-париетальный градиент. Проведение sLORETA позволило определить, что выявленные раньше различия в соотношении реактивности мощности тета ритма между фронтальными и париетальными отделами у молодых и пожилых испытуемых главным образом обусловлены большими значениями реактивности плотности источников тока в

структурах префронтальной коры (передняя цингулярная и префронтальная кора) у пожилых испытуемых по сравнению с молодыми при отсутствии значимых различий в активности париетальных отделов мозга.

По данным электрофизиологических исследований, ERS срединно-фронтального тета ритма наблюдается во время обеспечения механизмов когнитивного контроля (Cavanagh, Frank, 2014), в частности, при мониторинге ошибок (Luu et al., 2004), контроле за разрешением конфликта во время принятия решения (Cohen, Donner, 2013; van Driel et al., 2015). Введение микроэлектродов непосредственно в цингулярную кору показало ее непосредственное участие в генерации тета активности при выполнении заданий, требующих нисходящей регуляции (Wang et al., 2005). Таким образом, наши данные о возрастных различиях, наблюдаемых на заключительной стадии решения дивергентной задачи в передней цингулярной коре и средней лобной извилине на частоте тета ритма, могут быть связаны с функциями когнитивного контроля. Это предположение согласуется с моделью дополнительного, предположительно компенсаторного, привлечения фронтальных областей мозга, опосредующих неспецифические процессы контроля, пожилыми по сравнению с молодыми людьми для достижения поведенческой эффективности (Davis et al., 2008; Cabeza, Dennis, 2013). Подобный возрастной эффект большей тета синхронизации в передних областях коры мозга в СВГ по сравнению с МВГ был показан нами также на начальном этапе решения задачи. В совокупности, полученные нами результаты могут отражать более контролируемый подход к выполнению вербального дивергентного задания у пожилых испытуемых.

Известно, что мощность ЭЭГ в состоянии покоя может быть предиктором изменений мощности, вызванных предъявлением задачи (Basar, 1998; Basar, 1999; Klimesch, 1999). Рассматривая реактивность тета ритма, Климеш отмечает, что тоническое снижение мощности ассоциировано с большим фазическим увеличением (синхронизацией) вовремя выполнения задания (Klimesch, 1999). Особенности возрастных различий в тета частотном диапазоне, выявленные в настоящем исследовании, демонстрируют такой же паттерн: более низкие

показатели ЭЭГ активности в тета ритме, измеренные как плотность источников тока, в предстимульном временном интервале (тоническое снижение) сопровождаются более высокими показателями ЭЭГ активности, измеренными как реактивность плотности источников тока (более сильная синхронизация) в СВГ по сравнению с МВГ с одинаковыми областями локализации эффектов (передняя цингулярная извилина). Таким образом, мозг молодых и пожилых испытуемых может быть подготовлен к специфическому паттерну вызванной тета активности через поддержание более высокой или низкой исходной мощности ритма.

С помощью дисперсионного анализа выявлены яркие возрастные различия на частоте широкого бета диапазона: значения ERSP были ниже в СВГ по сравнению с МВГ. Анализ пространственного паттерна на уровне отведений, объединенных в анализируемые области, показал наибольшую синхронизацию в париетально-окципитальной зоне по сравнению с другими областями что может отражать важность для завершающего этапа решения задачи процессов, связанных с вниманием и интеграцией информации (Donner et al., 2007; Donner, Siegel, 2011; Kamiński et al., 2012; Gola et al., 2013; Aissani et al., 2014; Göschl et al., 2015). В то время как для МВГ данный паттерн присутствовал в широком бета диапазоне, в СВГ он наблюдался только в бета 2 ритме. В бета 1 ритме в СВГ показаны возрастные особенности, которые заключаются в максимальной ERD в центрально-париетальной области. Поскольку десинхронизация бета 1 ритма в моторной и премоторной коре, соответствующей центральной области на уровне электродов, выявляется во время представления моторного действия в воображении (Васильев и др., 2016; Neuper et al., 2006), возрастной эффект в бета 1 ритме может быть обусловлен большей активностью коры в связи с воображением действия с предметом у пожилых испытуемых, продолжая тенденцию, сформировавшуюся на предыдущем (среднем) этапе во время поиска решения задачи.

Анализ корковой локализации возрастных различий в бета 1, 2 частотных диапазонах позволил установить, что более сильная ERD ритма в СВГ по

сравнению с МВГ присутствовала в задних областях коры, достигая максимальных различий в таких структурах как задняя цингулярная извилина, предклинье, верхняя и нижняя париетальные доли на частоте бета 1 ритма, и предклинье, верхняя париетальная доля, цингулярная извилина в бета 2 ритме. Однонаправленный характер различий и похожие области локализации позволяют рассматривать осцилляции на частотах широкого бета ритма, не дифференцируя бета 1 и бета 2 диапазоны.

Задняя цингулярная кора и предклинье являются задними узлами дефолт сети, которая реализует внутренне направленные и самопроизвольно генерируемые процессы, например, извлечение автобиографической информации и предвосхищение будущего (Buckner et al., 2008; Andrews-Hanna et al., 2014). Считается, что когнитивные процессы, происходящие во время завершающей стадии решения дивергентной задачи или оценки креативной идеи, опираются на некоторые области исполнительной и дефолт сетей мозга (Ellamil et al., 2012; Beaty et al., 2015). Параллельная регистрация ЭЭГ и метаболической активности с помощью фМРТ показала, что активации дефолт сети в покое (измеренной по показателю функциональной связности) сопутствует более высокая мощность бета ритма (Laufs et al., 2003; Mantini et al., 2007; Hlinka et al., 2010, Knyazev et al., 2015Б). Таким образом, возможно, что СВГ по сравнению с МВГ в меньшей степени вовлекают такие структуры дефолт сети как задняя цингулярная извилина и предклинье во время оценивания креативной идеи.

Многие исследования с применением метода фМРТ выявили нарушения в функционировании дефолт сети в пожилом возрасте, особенно в париетально-окципитальной области, во время выполнения когнитивных заданий (Lustig et al., 2003; Miller et al., 2008). Сниженная функциональная связность внутри дефолт сети в состоянии покоя (Damoiseaux et al., 2008; Sala-Llonch et al., 2015), наиболее сильная в задних узлах (Jones et al., 2011), также является одним из наиболее согласованных результатов в исследовании нейронных сетей мозга при старении (Sala-Llonch et al., 2015). Кроме томографических работ, к похожим результатам пришли ЭЭГ исследования, которые установили сокращение количества узлов в

задней части дефолт сети, включая заднюю цингулярную извилину, предклинье и окципитальную нейронную сеть, у испытуемых старшей возрастной группы. Этот эффект был выявлен на частоте бета диапазона, что подчеркивает значение этого ритма с точки зрения возрастных различий в дефолт сети мозга (Knyazev et al., 2015A). Таким образом, возрастные различия в бета диапазоне, обнаруженные в данной работе, могут быть связаны с функциональными изменениями в задних узлах дефолт сети, которые в наибольшей степени подвержены снижению при старении и которые функционируют на частоте бета частотного диапазона. Описанное возрастное снижение может лежать в основе выбора различных стратегий решения дивергентной задачи молодыми и пожилыми испытуемыми. Учитывая, что задняя цингулярная кора и предклинье играют главную роль в обеспечении интегративных функций (Buckner et al., 2008; Andrews-Hanna et al., 2014) и функций внутренне направленного внимания (Mason, Norton, 2007; Leech, Sharp, 2014; Chen et al., 2015), результаты нашей работы согласуются с предположением, что пожилые люди имеют тенденцию использовать паттерны узнавания и эвристики (Seligman et al., 2016), в то время как молодые больше полагаются на свободную рекомбинацию элементов памяти во время внутренне направленного внимания (Benedek et al., 2012). Эту гипотезу подтверждают результаты корреляционного анализа. Позитивная корреляция между баллами оригинальности и показателями реактивности плотности источников тока бета 2 ритма в предклинье в МВГ, при ее отсутствии в СВГ, на завершающем этапе решения дивергентной задачи свидетельствует о важности процессов, связанных с заключительной интеграцией образа креативной идеи, для достижения высокой оригинальности только у молодых людей.

Кроме задних узлов дефолт сети мозга, наибольшая бета десинхронизация в СВГ по сравнению с МВГ была также локализована в других париетальных и окципитальных областях, связанных с обработкой сенсорной информации, включая язычковую, веретенообразную извилины и клин. Известно, что такие интегративные структуры париетальной доли как задняя цингулярная кора, угловая извилина, предклинье, верхняя париетальная долька, темпоро-

париетальная формация и структуры сенсорной реактивации активируются во время эпизодической памяти (Binder et al., 2009; Hall et al., 2014) и такого комплексного и важного для креативности процесса как воображение (Fink et al., 2014Б; Abraham, Bubic, 2015). С другой стороны, ЭЭГ исследования свидетельствуют в пользу роли бета осцилляций с преимущественной локализацией в парието-окципитальных областях в обеспечении функции зрительного внимания (Kukleta et al., 2009; Kamiński et al., 2012; Gola et al., 2013; Güntekin et al., 2013), при внутреннем контроле внимания во время медитаций (Travis, Shear, 2010). Большое количество работ свидетельствует, что синхронизация на частоте бета диапазона с преимущественной локализацией в центрально-париетальных областях опосредует интегративные перцептивные функции: обработка тактильной, зрительной, зрительно-моторной информации и принятие «перцептивного решения» (Donner et al., 2007; Donner, Siegel, 2011; Aissani et al., 2014; Göschl et al., 2015). Таким образом, данные о функциональном значении структур мозга и частотных составляющих ЭЭГ свидетельствуют, что наблюдаемые возрастные различия в ERD в широком бета диапазоне могут быть связаны с различным способом представления сгенерированной идеи в процессе ее оценки. По-видимому, на завершающем этапе решения задачи у молодых испытуемых в большей степени по сравнению с пожилыми представлены процессы удержания и заключительной интеграции сложных мультимодальных образов идеи о необычном использовании предмета.

В настоящем исследовании нами была выявлена позитивная корреляция между реактивностью плотности источников тока на частоте бета 2 ритма в клине и уровнем образования (в годах) в СВГ. Поскольку последний показатель считается одним из индикаторов когнитивного резерва при старении (Scarmeas et al., 2004), можно прийти к выводу, что большей когнитивной сохранности у пожилых участников сопутствуют более высокие значения бета 2 реактивности в задних структурах. Таким образом, выявленные нами в СВГ более низкие по сравнению с МВГ показатели реактивности плотности источников тока в бета диапазоне (предположительно связанные с поддержанием комплексных образов

идеи во время их оценки) могут быть проявлением возрастного снижения при старении. Данная гипотеза согласуется с данными психологических исследований когнитивных процессов при старении. Так, многочисленные работы убедительно показали, что пожилые люди по сравнению с молодыми склонны использовать меньше деталей из эпизодической памяти, касающиеся «кто, что, где, когда» во время таких заданий как вспоминания прошлого и конструирования образов будущего (Levine et al., 2002; Addis et al., 2008; Addis et al., 2010; Schacter et al., 2013; Madore et al., 2016). Проявление данного возрастного эффекта во время оценки креативной идеи не является неожиданным, поскольку считается, что творческое воображение и конструирование образов будущего может иметь одну нейронную основу (Benedek et al., 2014B). Таким образом, полученные нами данные могут рассматриваться как косвенное подтверждение на уровне работы мозга предположения, сделанного на основе анализа психометрических данных, согласно которому СВГ по сравнению с МВГ меньше опираются на рекомбинацию элементов эпизодической памяти при решении вербальных дивергентных задач (Madore et al., 2016).

4.3 Предикторы оригинальности в младшей и старшей возрастных группах

Возрастные различия в психометрических показателях.

Результаты анализа различий у молодых и пожилых испытуемых по показателям IQ в тесте Айзенка и шкале «Поиск» согласуются с данными литературы о глобальном возрастном снижении флюидного интеллекта и скорости обработки информации (Baltes et al., 1999), а также открытости опыту (Wortman et al., 2012). В то же время испытуемые СВГ и МВГ не отличались по

показателю когнитивного контроля, измеренного по количеству ошибок и времени в тесте ANT. Таким образом, несмотря на показанное в некоторых работах снижение этих когнитивных показателей при старении (Hasher et al., 2001; Darowski et al., 2008; Cabeza, Dennis, 2013), наши результаты соответствуют ряду исследований, которые выявили возрастную сохранность исполнительного контроля (Jennings et al., 2007; Gamboz et al., 2010; Dorbath et al., 2011; Williams et al., 2016).

В результате *регрессионного анализа* были построены достоверные модели описания оригинальности для обеих возрастных групп, которые подтвердили наши предположения о вкладе предикторов интеллекта, исполнительного контроля и мотивации к поисковой активности, особенно в СВГ.

Учитывая, что только в СВГ высокий уровень оригинальности сопровождается высокими показателями интеллекта и высокими баллами по шкале «Поиск», при возрастном ухудшении показателей данных предикторов, у нас есть основания для вывода, что возрастная сохранность IQ и исследовательской активности является необходимым условием высокой вербальной креативности у людей старшего возраста.

Поскольку шкала «Поиск» вносит позитивный вклад и в креативность, и в интеллект, стремление к исследовательской активности у людей старшего возраста можно рассматривать в целом как предиктор когнитивной сохранности. По-видимому, пожилые люди с высокими баллами по этой шкале склонны принимать участие в разнообразной и новой для себя деятельности, что может являться своеобразной когнитивной тренировкой, способствующей сохранности когнитивного функционирования (Park, Bischof, 2013). Аналогично нашим результатам, в лонгитюдном исследовании Вильямса и коллег было выявлено значение открытости новому опыту для поддержания когнитивных способностей в пожилом возрасте (Williams et al., 2013).

Пожилые и молодые испытуемые продемонстрировали сопоставимый уровень исполнительного контроля, поэтому можно отнести разнонаправленный вклад данного предиктора в оригинальность у испытуемых старшего возраста как

проявление специфичной возрастной стратегии достижения оригинальности. Это опора на селекцию информации, связанную с исполнительными функциями (Beaty, Silvia, 2012; Abraham, 2014), у пожилых и диффузное внимание, дающее преимущество свободной рекомбинации ассоциаций (Takeuchi et al., 2011; Chrysikou et al., 2013; Radel et al., 2015), - у молодых испытуемых.

По-видимому, молодые лица используют хорошо описанную в литературе стратегию поиска и генерации необычных идей благодаря активации широких семантических сетей, а также интеграции отдаленных и случайных ассоциаций (Mednick, 1962; Mendelsohn, 1976). Ранее мы предположили, что специфичная для пожилого возраста стратегия может основываться на применении тех приемов в поиске решения задач, которые касаются эффективного игнорирования семантических полей, связанных с обыденными представлениями о предмете, и формировались в течение жизни. По мнению ряда авторов, подавление или игнорирование релевантной (связанной с заданием), но не соответствующей требованиям оригинальности информации – так называемое «преодоление ограничения знаниями» - имеет исключительную значимость для креативного, в отличие о нормативного, мышления (Beaty, Silvia, 2012; Abraham, 2014). Для реализации мышления по аналогии, другой предполагаемой возрастной стратегии, также необходимы эффективный отсев и скрининг значимой информации.

Таким образом, результаты регрессионного анализа предикторов оригинальности согласуются с результатами анализа временной динамики ЭЭГ при выполнении вербальной дивергентной задачи и подтверждают гипотезу нашего исследования о более контролируемом подходе к выполнению задания и более выраженном привлечении селективных процессов у пожилых по сравнению с молодыми испытуемыми.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании, проведенном на выборке ментально здоровых молодых и пожилых испытуемых, показано отсутствие возрастных различий в оригинальности решения вербальной дивергентной задачи, что свидетельствует о сохранности вербального дивергентного мышления при успешном ментальном старении.

Анализ временной динамики позволил приблизиться к пониманию нейрофизиологичеких процессов, происходящих при решении вербальной дивергентной задачи молодыми и пожилыми людьми. Дифференцированные паттерны осцилляторной активности мозга, сопровождающие процесс решения задачи на каждом из проанализированных этапов, вносят вклад в сопоставимую эффективность выполнения вербального дивергентного задания у молодых и пожилых испытуемых.

При анализе последовательных временных интервалов решения вербальной дивергентной задачи впервые установлено, что на начальном этапе (200-800 мс после предъявления стимула) возрастные различия появляются на частотах тета и альфа 3 ритмов. Во временном интервале 400-600 мс различия характеризуются меньшей десинхронизацией тета ритма у пожилых по сравнению с молодыми испытуемыми. Эффект был локализован в левой нижней фронтальной извилине и правых фронто-темпоральных областях, которые отвечают за осуществление контролируемого извлечения семантической информации и актуализации отдаленных семантических связей, соответственно. Известная связь мощности тета ритма с процессами памяти и когнитивного контроля может свидетельствовать об усилении вклада контролируемых семантических процессов во время первичной актуализации ассоциаций при старении. В альфа 3 частотном диапазоне у молодых лиц выявлено постоянство показателей вызванной десинхронизации в исследованных временных интервалах, в то время как у

пожилых после 400-600 мс происходит ее уменьшение. Эти изменения имели место в париетально-окципитальной области, связанной со зрительным вниманием. Дополнительно только у пожилых лиц уменьшение десинхронизации альфа 3 ритма правого полушария было связано с увеличением оригинальности идей уже на раннем интервале 400-600 мс. Вместе с данными в тета ритме, результаты еще раз подчеркивают различия процессов, происходящих в интервале 400-600 мс, у молодых и пожилых испытуемых. Можно предполагать более ранний переход к селективным нисходящим процессам (top-down регуляция), имеющим более тесную связь с эффективностью дивергентного мышления, у пожилых по сравнению с молодыми лицами, что может лежать в основе более быстрого решения задачи людьми старшего возраста.

На последующем этапе поиска решения дивергентной задачи у пожилых по сравнению с молодыми испытуемыми обнаружена большая десинхронизация бета 1 ритма в прецентральной и постцентральной извилинах, парацентральной дольке, а также в медиальной и верхней фронтальной извилинах. Важно отметить, что эти области относят к моторным и премоторным областям коры. Согласно целому ряду экспериментальных наблюдений, десинхронизация низкочастотного бета ритма в состоянии физического покоя наблюдается во время воображения конкретных действий. 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.

Только на среднем этапе решения задачи влияние возраста на осцилляторную активность мозга было опосредовано уровнем оригинальности идей: глобальная синхронизация альфа 1 ритма у пожилых высокооригинальных участников была выше по сравнению с остальными группами испытуемых. Синхронизацию альфа ритма ассоциируют с контролируемым длительным доступом к процессам долговременной памяти, который, вероятно, имеет большее значение для эффективности творческого мышления пожилых испытуемых на продолжительном временном интервале поиска решения задачи.

На завершающем этапе решения задачи у пожилых по сравнению с молодыми лицами показана большая вызванная синхронизация тета ритма с локализацией в передней цингулярной извилине. Поскольку генерация тета ритма в передней цингулярной коре отмечается при выполнении задач, требующих нисходящего контроля, наши результаты позволяют предполагать больший вклад процессов когнитивного контроля у пожилых испытуемых во время оценки найденной креативной идеи.

В отличие от тета ритма, на частоте бета диапазона у пожилых по сравнению с молодыми испытуемыми выявлена меньшая синхронизация ритма на заключительном этапе решения задачи. Возрастные различия были наиболее выражены в задней цингулярной коре и предклинье, являющимися задними узлами дефолт системы, а также в окципитальных структурах, которые участвуют в сенсорной интеграции и реактивации во время воображения. По литературным данным синхронизация париетально-окципитального бета ритма связана с обеспечением функций внутренне направленного внимания и интеграции информации. 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 (при ее отсутствии у пожилых) свидетельствует о важности процессов, связанных с заключительной интеграцией информации, для достижения высокой оригинальности только у молодых людей.

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. Данное

предположение, сделанное на основе анализа временной динамики ЭЭГ во время выполнения вербального дивергентного задания, подтверждается данными регрессионного анализа вклада исполнительных процессов в оригинальность решения у молодых и пожилых испытуемых. Так, низкий исполнительный контроль (большое количество ошибок при разрешении конфликта) сопутствовал более высокой оригинальности у молодых и более низкой – у пожилых лиц.

Результаты проведенного ЭЭГ исследования показали, что сопоставимый уровень эффективности решения вербальной дивергентной задачи ассоциируется с дифференцированными паттернами электрической активности мозга у молодых и пожилых испытуемых. Таким образом, возрастные различия в осцилляторной активности мозга отражают не различия в оригинальности, а проявление специфических для возрастных групп стратегий решения задачи. Этот вывод подтверждается обнаруженной в работе большей скоростью решения задачи пожилыми людьми, несмотря на известное замедление обработки информации при старении.

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 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

фМРТ – функциональная магнитно-резонансная томография

ЦП - центрально-париетальная область

ЭЭГ – электроэнцефалограмма

ERD/ ERS - event-related desynchronization/ synchronization ,

ERSP - event-related spectral perturbations

sLORETA - standardized low resolution brain electromagnetic tomography

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айзенк Г.Ю. Проверьте свои способности // М.: Мир. 1972. 177 с.
2. Афтанас Л.И. Эмоциональное пространство человека: психофизиологический анализ // Новосибирск: Изд-во СО РАМН, 2000. 119 с.
3. Бехтерева Н.П., Данько С.Г., Старченко М.Г. Локальная и пространственная синхронизация ЭЭГ при выполнении теста на инсаайтную стратегию решения творческих вербальных задач // Физиология человека. 2003. Т. 29. №. 4. С.129-132.
4. Бойцова Ю.А., Данько С.Г., Соловьева М.Л. Отражение состояний продуктивного и репродуктивного воображения в локальной синхронизации тета и альфа диапазонов ЭЭГ // Физиология человека. 2017. Т. 43. №. 3. С: 132-136.
5. Болдырева Г.Н., Шарова Е.В., Жаворонкова Л.А., Челяпина М.В., Дубровская Л.П., Симонова О.А., Смирнов А.С., Трошина Е.М., Корниенко В.Н. ФМРТ и ЭЭГ реакции мозга здорового человека при активных и пассивных движениях ведущей рукой // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2014. V. 64. №. 5. P. 488-499.
6. Бушов Ю.В., Светлик М.В., Крутенкова Е.П. Высокочастотная электрическая активность мозга и восприятие времени // Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет. 2009. 120 с.
7. Васильев А.Н., Либуркина С.П., Каплан А.Я. Латерализация паттернов ЭЭГ у человека при представлении движений руками в интерфейсе мозг-компьютер // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2016. Т. 66. №. 3. С. 302-312.
8. Верхлютов В.М., Марьина И.В., Стрелец В.Б. Вызванная спектральная мощность ЭЭГ при предъявлении псевдослов и слов категорий «живое» и «неживое» // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2012. Т. 62. №5. С. 553-562.
9. Вольф Н.В., Глухих А.А. Фоновая электрическая активность мозга при «успешном» ментальном старении // Физиология человека. 2011. V. 37. №. 4. P. 1–10.

10. Вольф Н.В., Тарасова И.В. Электрофизиологические показатели и возможности повышения образной креативности при денежном вознаграждении // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2012. Т. 62. № 6. С. 692–702.

11. Вольф Н.В., Тарасова И.В. Влияние вознаграждения на выполнение вербальных творческих задач: поведенческие и ЭЭГ эффекты // Физиология человека. 2013. V. 39. №. 3. P. 87-95.

12. Данько С.Г., Старченко М.Г., Бехтерева Н.П. Локальная и пространственная синхронизация ЭЭГ при тестировании стратегии решения вербальных креативных задач // Физиология человека. 2003. Т. 29. №4. С. 129-132.

13. Данько С.Г., Шемякина Н.В., Нагорнова Ж.В., Старченко М.Г. Сравнение воздействия субъективной сложности и творческого характера вербальной деятельности на спектральные показатели мощности ЭЭГ // Физиология человека. 2009. Т. 35. № 3. С. 132-134.

14. Дорфман Л.Я., Гасимова В.А. Расфокусированное внимание как фактор креативного мышления // Вестник Пермского государственного института искусства и культуры. 2006. №. 1. С. 20-50.

15. Дружинин В.Н. Психология общих способностей // Спб.: Питер Ком. 1998. 360 с.

16. Иваницкий А.М. Синтез информации в ключевых отделах коры как основа субъектных переживаний // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. V. 47. №. 2. P. 209-225.

17. Мажирина К.Г., Мельников М.Е., Покровский М.А., Петровский Е.Д., Савелов А.А., Штарк М.Б. Прогрессивные матрицы Равена в лексике динамического картирования мозга (фМРТ-исследование) // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2015. Т. 160. № 12. С. 828-835.

18. Нагорнова Ж.В., Шемякина Н.В. Различия активации зрительных и ассоциативных зон коры при образной и вербальной креативности // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2014. Т. 100. № 4. С. 418-432.

19. Разумникова О.М. Способы определения креативности : учеб.-метод. пособие // Новосибирск, НГТУ. 2003. 36 с.

20. Разумникова О.М. Частотно-пространственная организация активности коры мозга при конвергентном и дивергентном мышлении в зависимости от фактора пола. Сообщение 1. Анализ мощности ЭЭГ // Физиология человека. 2004. Т. 30. № 6. С. 17-27.

21. Разумникова О.М., Брызгалов А.О. Частотно-пространственная организация электрической активности мозга при креативном вербальном мышлении: роль фактора пола // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2005. Т. 55. № 4. С. 487-495.

22. Разумникова О.М. Особенности селекции информации при креативном мышлении // Журнал Высшей школы экономики (Психология). 2009А. V. 6. №. 3. P. 134-161.

23. Разумникова О.М., Вольф Н.В., Тарасова И.В. Стратегия и результат: половые различия в электрографических коррелятах вербальной и образной креативности // Физиология человека. 2009Б. Т. 35. № 3. С. 31-41.

24. Разумникова О.М., Тарасова И.В., Вольф Н.В. Особенности активации коры у лиц с высокой и низкой вербальной креативностью: анализ альфа 1, 2 – ритмов // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2009В. Т. 59. № 5. С. 581-586.

25. Разумникова О.М. Психофизиология: учебник // Новосибирск : Изд-во НГТУ. 2016. 307 с.

26. Родионов А.Р. Нейрофизиологические механизмы воображения при выполнении вербальных творческих задач в условиях зрительной стимуляции // Физиология человека. 2013. Т. 39. № 3. С. 35-45.

27. Седов А.С., Деветьяров Д.А., Семенова Ю.Н., Завьялова В.В., Ушаков В.Л., Медведник Р.С., Ублинский М.В., Ахадов Т.А., Семенова Н.А. ФМРТ исследование динамики реакций мозга человека при реализации произвольного движения // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2015. Т. 65. №. 4. С. 436-445.

28. Тарасова И.В., Разумникова О.М., Вольф Н.В. Связь изменений мощности ЭЭГ с инструкцией, стимулирующей творческон мышление у мужчин и женщин // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2006. Т. 56. № 5. С. 611-617.

29. Шемякина Н.В., Данько С.Г., Нагорнова Ж.В., Старченко М.Г., Бехтерева Н.П. Динамика спектров мощности и когерентности ритмических компонентов ЭЭГ при решении вербальной творческой задачи преодоления стереотипа ритмических компонентов // Физиология человека. 2007. Т. 33. № 5. С. 14-21.

30. Штарк М.Б., Коростышевская А.М., Резакова М.В., Савелов А.А. Функциональная магнитно-резонансная томография и нейронауки // Успехи физиологических наук. 2012. Т. 43. № 1. С. 3-29.

31. Abraham A., Beudt S., Ott D.V.M., von Cramon D.R. Creative cognition and the brain: Dissociations between frontal, parietal-temporal and basal ganglia groups // Brain research. 2012A. V. 1482. P. 55-70.

32. Abraham A., Pieritz K., Thybusch K., Rutter B., Kr€oger S., Schweckendiek J., Stark R., Windmann S., Hermann C. Creativity and the brain: uncovering the neural signature of conceptual expansion // Neuropsychologia. 2012Б. V. 50. №. 8. P. 1906–1917.

33. Abraham A. Creative thinking as orchestrated by semantic processing versus cognitive control brain networks // Frontiers in human neuroscience. 2014. V. 8. Article 95.

34. Abraham A., Bubic A. Semantic memory as the root of imagination // Frontiers in psychology. 2015. V. 6. Article 325.

35. Addis D.R., Wong A.T., Schacter D.L. Remembering the past and imagining the future: common and distinct neural substrates during event construction and elaboration // Neuropsychologia. 2007. V. 45. №. 7. P. 1363-1377.

36. Addis D.R., Wong A.T., Schacter D.L. Age-related changes in the episodic simulation of future events // Psychological Science. 2008. V. 19. №. 1. P. 33-41.

37. Addis D.R., Musicaro R., Pan L., Schacter D.L. Episodic simulation of past and future events in older adults: Evidence from an experimental recombination task // Psychology and aging. 2010. V. 25. №. 2. P. 369-376.

38. Addis D.R., Pan L., Musicaro R., Schacter D.L. Divergent thinking and constructing episodic simulations // Memory. 2016.V. 24. №. 1. P. 89–97.

39. Aissani C., Martinerie J., Yahia-Cherif L., Paradis A.L., Lorenceau J. Beta, but not gamma, band oscillations index visual form-motion integration // PLoS One. 2014. V. 29. №. 4. Article e95541.

40. Alpaugh P.K., Birren J.E. Variables affecting creative contributions across the adult life span // Human development. 1977. V. 20. №. 4. P. 240-248.

41. Alpaugh P.K., Parham I.A., Cole K.D., Birren J.E. Creativity in adulthood and old age: An exploratory study // Educational Gerontology. 1982. V. 8. №. 2. P. 101–116.

42. Amieva H., Stoykova R., Matharan F., Helmer C., Antonucci T.C., Dartigues J.F. What aspects of social network are protective for dementia? Not the quantity but the quality of social interactions is protective up to 15 years later // Psychosomatic Medicine. 2010. V. 72. №. 9. P. 905–911.

43. Amieva H., Mokri H., Le Goff M., Meillon C., Jacqmin-Gadda H., Foubert-Samier A., Orgogozo J.M., Stern Y., Dartigues J.F. Compensatory mechanisms in higher-educated subjects with Alzheimer's disease: a study of 20 years of cognitive decline // Brain. 2014. V. 137(Pt 4). P. 1167–1175.

44. Anderson M.C., Ochsner K.N., Kuhl B., Cooper J., Robertson E., Gabrieli S.W., Glover G.H., Gabrieli J.D. Neural systems underlying the suppression of unwanted memories // Science. 2004. V. 303. №. 5655. P. 232–235.

45. Andrews-Hanna J.R., Snyder A.Z., Vincent J.L., Lustig C., Head D., Raichle M.E., Buckner R.L. Disruption of large-scale brain systems in advanced aging // Neuron. 2007. V. 56. №. 5. P. 924–935.

46. Andrews-Hanna J.R., Smallwood J., Spreng R.N. The default network and self-generated thought: component processes, dynamic control, and clinical relevance // Annals of the New York Academy of Sciences. 2014. V. 1316. P. 29-52.

47. Anguera J.A., Boccanfuso J., Rintoul J.L., Al-Hashimi O., Faraji F., Janowich J., Al-Hashimi O., Faraji F., Janowich J., Kong E., Larraburo Y., Rolle C., Johnston E., Gazzaley A. Video game training enhances cognitive control in older adults // Nature. 2013. V. 501. №. 7465. P. 97-101.

48. Annett M.A. A classification of hand preference by association analysis // British journal of psychology. 1970. V. 61. № 3. P. 303-321.

49. Anstey K., Low L. Normal cognitive changes in aging // Australian Family Physician. 2004. V. 33. №. 10. P. 783–787.

50. Arden R., Chavez R.S., Grazioplene R., Jung R.E. Neuroimaging creativity: A psychometric view // Behavioural brain research. 2010.V. 214. №. 2. P. 143-156.

51. Aron A.R. The neural basis of inhibition in cognitive control // Neuroscientist. 2007. V. 13. №.3. P. 214–222.

52. Babiloni F., Cincotti F., Carducci F., Rossini P.M., Babiloni C. Spatial enhancement of EEG data by surface Laplacian estimation: the use of magnetic resonance imagingbased head models // Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology. 2001. V. 112. №. 5. P. 724–727.

53. Babiloni C., Binetti G., Cassarino A. Dal Forno G., Del Percio C., Ferreri F., Ferri R., Frisoni G., Galderisi S., Hirata K., Lanuzza B., Miniussi C., Mucci A., Nobili F., Rodriguez G., Luca Romani G., Rossini P.M. Sources of cortical rhythms in adults during physiological aging: a multicentric EEG study // Human brain mapping. 2006. V. 27. № 2. P. 162-172.

54. Baddeley A.D. Fractionating the central executive // In: Stuss D.T., Knight R.T. (Eds). Principles of Frontal Lobe Function. Oxford: Oxford University Press. 2002. P. 246-260.

55. Badre D., Wagner A.D. Left ventrolateral prefrontal cortex and the cognitive control of memory // Neuropsychologia. 2007. V. 45. №. 13. P. 2883-2901.

56. Bai O., Rathi V., Lin P., Huang D., Battapady H., Fei D.Y., Schneider L., Houdayer E., Chen X., Hallett M. Prediction of human voluntary movement before it occurs. // Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology. 2011. V. 122. N. 2. P. 364-372.

57. Bakker I., Takashima A., van Hell J.G., Janzen G., McQueen J.M. Changes in Theta and Beta Oscillations as Signatures of Novel Word Consolidation // Journal of cognitive neuroscience. 2015. V. 27. №. 7. P. 1286-1297.

58. Baltes P.B., Baltes M.M. Psychological perspectives on successful aging: The model of selective optimization with com-pensation // In Baltes P.B., Baltes M.M. (Eds.). Successful aging: Perspectives from the behavioral sciences. Cambridge University Press, Cambridge. 1990. P. 1– 34.

59. Baltes P.B., Lindenberger U. Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: a new window to the study of cognitive aging? // Psychology and aging. 1997. V. 12. №. 1. P. 12-21.

60. Baltes P.B., Staudinger U.M., Lindenberger U. Lifespan psychology. Theory and application to intellectual functioning // Annual Review of Psychology. 1999. V. 50. P. 471–507.

61. Baron J. Thinking and deciding (4th ed) // New York, NY: Cambridge University Press. 2008. 600 p.

62. Basadur M.S. Optimal ideation-evaluation ratios // Creativity research journal. 1995. V. 8. P. 63-75.

63. Basar E. Brain function and oscillations: I. Brain oscillations. Principles and Approaches // Springer, Berlin, Heidelberg. 1998. 363 pages.

64. Basar E. Brain function and oscillations: II. Integrative brain function. Neurophysiology and Cognitive Processes // Springer, Berlin, Heidelberg. 1999. 476 pages

65. Bastiaansen M.C., van Berkum J.J., Hagoort P. Syntactic processing modulates the theta rhythm of the human EEG // Neuroimage. 2002. V. 17. №. 3. P. 1479–1492.

66. Bastiaansen M.C., van der Linden M., Ter Keurs M., Dijkstra T., Hagoort P. Theta responses are involved in lexical-semantic retrieval during language processing // Journal of cognitive neuroscience. 2005. V. 17. №. 3. P. 530-541.

67. Bastiaansen M.C., Oostenveld R., Jensen O., Hagoort P. I see what you mean: theta power increases are involved in the retrieval of lexical semantic information // Brain and language. 2008. V. 106. №. 1. P. 15-28.

68. Beaty R.E., Silvia P.J. Why do ideas get more creative across time? An executive interpretation of the serial order effect in divergent thinking tasks // Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts. 2012. V. 6. №. 4. P. 309–319.

69. Beaty R.E., Benedek M., Kaufman S.B., Silvia P.J. Default and Executive Network Coupling Supports Creative Idea Production // Scientific reports. 2015. V. 5. Article 10964.

70. Beckmann C.F., DeLuca M., Devlin J.T., Smith S.M. Investigations into resting-state connectivity using independent component analysis // Philosophical

Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences. 2005. V. 360. №. 1457. P. 1001-1013.

71. Beeman M., Friedman R.B., Grafman J., Perez E., Diamond S., Lindsay M.B. Summation priming and coarse semantic coding in the right hemisphere // Journal of cognitive neuroscience. 1994. V. 6. №. 1. P. 26-45.

72. Benedek M., Bergner S., Konen T., Fink A., Neubauer A.C. EEG alpha synchronization is related to top-down processing in convergent and divergent thinking // Neuropsychologia. 2011. V. 49. №. 12. P. 3505–3511.

73. Benedek M., Könen T., Neubauer A.C. Associative abilities underlying creativity // Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts. 2012. V. 6. №. 3. P. 273–281.

74. Benedek M., Neubauer A.C. Revisiting Mednick's Model on Creativity-Related Differences in Associative Hierarchies. Evidence for a Common Path to Uncommon Thought // The Journal of Creative Behavior. 2013. V. 47. №. 4. P. 273–289.

75. Benedek M., Beaty R., Jauk E., Koschutnig K., Fink A., Silvia P.J., Dunst B., Neubauer A.C. Creating metaphors: The neural basis of figurative language production // Neuroimage. 2014A. V. 90. №. 100. P. 99–106.

76. Benedek M., Borovnjak B., Neubauer A.C., Kruse-Weber S. Creativity and personality in classical, jazz and folk musicians // Personality and Individual Differences. 2014Б. V. 63. №. 100. P. 117–121.

77. Benedek M., Jauk E., Fink A., Koschutnig K., Reishofer G., Ebner F., Neubauer A.C. To create or to recall? Neural mechanisms underlying the generation of creative new ideas // NeuroImage. 2014B. V. 88. P. 125–133.

78. Benedek M., Schickel R.J., Jauk E., Fink A., Neubauer A.C. Alpha power increases in right parietal cortex reflects focused internal attention // Neuropsychologia. 2014Г. V. 56. P. 393–400.

79. Benedek M., Jauk E. Spontaneous and controlled processes in creative cognition // In Fox K.C.R., Christoff K. (Eds.). The Oxford handbook of spontaneous thought: mind-wandering, creativity, dreaming, and clinical conditions. New York: Oxford University Press. 2018. 632 pages.

80. Benjamini Y., Hochberg Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing // Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological). 1995. V. 57. № 1. P. 289-300.

81. Bennett DA, Wilson RS, Schneider JA, Evans DA, Mendes de Leon CF, Arnold SE, Barnes LL, Bienias JL. Education modifies the relation of AD pathology to level of cognitive function in older persons // Neurology. 2003. V. 60. №. 12. P. 1909–1915.

82. Bialystok E., Craik F.I.M., Freedman M. Bilingualism as a protection against the onset of symptoms of dementia // Neuropsychologia. 2007. V. 45. №. 2. P. 459-464.

83. Bialystok E., Craik F.I.M., Luk G. Bilingualism: consequences for mind and brain // Trends in Cognitive Sciences. 2012. V. 16. №. 4. P. 240-250.

84. Binder J.R., Frost J.A., Hammeke T.A., Bellgowan P.S., Rao S.M., Cox R.W. Conceptual processing during the conscious resting state. A functional MRI study // Journal of Cognitive Neuroscience. 1999. V. 11. №. 1. P. 80-95.

85. Binder J.R., Desai R.H., Graves W.W., Conant L.L. Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies // Cerebral Cortex. 2009. V. 19. №. 12. P. 2767-2796.

86. Binder J.R., Desai R.H. The neurobiology of semantic memory // Trends in Cognitive Sciences. 2011. V. 15. №. 11. P. 527-536.

87. Blumenfield R.S., Parks C.M., Yonelinas A.P., Ranganath C. Putting the pieces together: The role of dorsolateral prefrontal cortex in relational memory encoding // Journal of Cognitive Neuroscience. 2011. V. 23. №. 1. P. 257–265.

88. Boccia M., Piccardi L., Palermo L., Nori R., Palmiero M. Where do bright ideas occur in our brain? Meta-analytic evidence from neuroimaging studies of domain-specific creativity // Frontiers in Psychology. 2015. V. 6. Article 1195.

89. Bocharov A.V., Knyazev G.G., Savostyanov A.N. Depression and implicit emotion processing: An EEG study // Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology. 2017. V. 47. №. 3. P. 225-230.

90. Bonnefond M., Jensen O. Alpha oscillations serve to protect working memory maintenance against anticipated distracters // Current biology: CB.. 2012. V. 22. №. 20. P. 1969-1974.

91. Bopp K.L., Verhaeghen P. Age-Related Differences in Control Processes in Verbal and Visuospatial Working Memory: Storage, Transformation, Supervision, and Coordination // The Journals of Gerontology: Series B. 2007. V. 62. №. 5. P. 239-246.

92. Botvinick M.M., Cohen J.D., Carter C.S. Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: An update // Trends in Cognitive Sciences. 2004. V. 8. №. 12. P. 539–546.

93. Bowden E.M., Beeman M.J. Getting the right idea: Semantic activation in the right hemisphere may help solve insight problems // Psychological science. 1998. V. 9. №. 6. P. 435 – 440.

94. Bowden E.M., Jung-Beeman M., Fleck J., Kounios J. New approaches to demystifying insight // Trends in Cognitive Sciences. 2005. V. 9. №. 7. P. 322-328.

95. Bowling A., Dieppe P. What is successful ageing and who should define it? // BMJ. 2005. V. 331(7531). P. 1548–1551.

96. Brandt M., Deindl C., Hank K. Tracing the origins of successful aging: the role of childhood conditions and social inequality in explaining later life health // Social Science & Medicine. 2012. V. 74. №. 9. P. 1418-1425.

97. Buckner R.L., Andrews-Hanna J.R., Schacter D.L. The brain's default network: anatomy, function, and relevance to disease // Annals of the New York Academy of Sciences. 2008. V. 1124. P. 1-38.

98. Bunge S.A., Wendelken C., Badre D., Wagner A.D. Analogical reasoning and prefrontal cortex: Evidence for separable retrieval and integration mechanisms // Cerebral Cortex. 2005. V. 15. №. 3. P. 239– 249.

99. Burgess N. Spatial cognition and the brain // Annals of the New York Academy of Sciences. 2008. V. 1124. P. 77-97.

100. Cabeza R., Anderson N.D., Houle S., Mangels J.A., Nyberg L. Age-related differences in neural activity during item and temporal-order memory retrieval: A positron emission tomography study // Journal of Cognitive Neuroscience. 2000 . V. 12. №. 1. P. 197-206.

101. Cabeza, R., Daselaar, S. M., Dolcos, F., Prince, S. E., Budde, M., Nyberg, L. Task-independent and task-specifi c age eff ects on brain activity during working

memory, visual attention and episodic retrieval // Cerebral Cortex. 2004. V. 14. №. 4. P. 364–375.

102. Cabeza R., Dennis N.A. Frontal lobes and aging: Deterioration and compensation. // In Stuss D.T. Knight R.T. (Eds). Principles of Frontal Lobe Function, 2nd Edition. Oxford University Press, New York. 2013. P. 628-652.

103. Cardenas V.A., Chao L.L., Studholme C., Yaffe K., Miller B.L., Madison C., Buckley S.T., Mungas D., Schuff N., Weiner M.W. Brain atrophy associated with baseline and longitudinal measures of cognition // Neurobiology of aging. 2011. V. 32. №. 4. P. 572–580.

104. Carson S.H., Peterson J.B., Higgins D.M. Decreased latent inhibition is associated with increased creative achievement in high-functioning individuals // Journal of personality and social psychology. 2003. V. 85. №. 3. P. 499-506.

105. Cavanagh J.F., Frank M.J. Frontal theta as a mechanism for cognitive control // Trends in Cognitive Sciences. 2014. V. 18. №. 8. P. 414-421.

106. Chamberlain, R., McManus, I. C., Brunswick, N., Rankin, Q., Riley, H., & Kanai, R. Drawing on the right side of the brain: Avoxel-based morphometry analysis of observational drawing // Neuroimage. 2014. V. 96. P. 167–173.

107. Chapman S.B., Aslan S., Spence J.S., Hart J.J.Jr., Bartz E.K., Didehbani N., Keebler M.W., Gardner C.M., Strain J.F., Defina L.F., Lu H. Neural Mechanisms of Brain Plasticity with Complex Cognitive Training in Healthy Seniors // Cerebral Cortex. 2013. V. 25. №. 2. P. 396-405.

108. Chen Q.L., Xu T., Yang W.J., Li Y.D., Sun J.Z., Wang K.C., Beaty R.E., Zhang Q.L., Zuo X.N., Qiu J. Individual differences in verbal creative thinking are reflected in the precuneus // Neuropsychologia. 2015. V. 75. P. 441-449.

109. Christensen H. What cognitive changes can be expected with normal ageing? // Australian and New Zealand Journal of Psychiatry. 2001. V. 35. №. 6. P. 768–775.

110. Christensen H., Batterham P.J., Mackinnon A.J., Anstey K.J., Wen W., Sachdev P.S. Education, atrophy, and cognitive change in an epidemiological sample in early old age // The American Journal of Geriatric Psychiatry. 2009. V. 17. №. 3. P. 218-226.

111. Chrysikou E.G., Hamilton R.H., Coslett H.B., Datta A., Bikson M., Thompson-Schill S.L. Noninvasive Transcranial Direct Current Stimulation Over the Left Prefrontal Cortex Facilitates Cognitive Flexibility in Tool Use // Cognitive neuroscience. 2013. V. 4. №. 2. P. 81-89.

112. Clark C.R., Veltmeyer M.D., Hamilton R.J., Simms E., Paul R., Hermens D., Gordon E. Spontaneous alpha peak frequency predicts working memory performance across the age span // International journal of psychophysiology. 2004. V. 53. №. 1. P. 1-9.

113. Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd edn) // Hillsdale, N.J. : L. Erlbaum Associates. 1988. 567 p.

114. Cohen M.X., Donner T.H. Midfrontal conflict-related theta-band power reflects neural oscillations that predict behavior // Journal of neurophysiology. 2013. V. 110. №. 12. P. 2752-2763.

115. Cohen M.X. A neural microcircuit for cognitive conflict detection and signaling // Trends in neurosciences. 2014. V. 37. №. 9. P. 480-490.

116. Colcombe S.J., Erickson K.I., Raz N., Webb A.G., Cohen N.J., McAuley E., Kramer AF. Aerobic fitness reduces brain tissue loss in aging humans // The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences. 2003. V. 58. №. 2. P. 176-180.

117. Colcombe S.J., Kramer A.F., McAuley E., Erickson K.I., Scalf P. (2004). Neurocognitive aging and cardiovascular fitness: recent findings and future directions // Journal of molecular neuroscience. 2004. V. 24. №. 1. P. 9-14.

118. Congedo M. Subspace projection filters for real-time brain electromagnetic imageing // IEEE transactions on bio-medical engineering. 2006. V. 53. №. 8. P. 1624–1634.

119. Cooper N.R., Croft R.J., Dominey S.J.J., Burgess A.P., Gruzelier J.H. Paradox lost? Exploring the role of alpha oscillations during externally vs. internally directed attention and the implications for idling and inhibition hypotheses // International Journal of Psychophysiology. 2003. V. 47. №. 65–74.

120. Corbetta M., Shulman G.L. Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain // Nature reviews. Neuroscience. 2002. V. 3. №. 3. P. 201-215.

121. Corbetta M., Patel G., Shulman G.L. The reorienting system of the human brain: from environment to theory of mind // Neuron. 2008. V. 58. №. 3. P. 306-324.

122. Craik F.I.M. Age differences in human memory // In Birren J.E., Schaie K.W. (Eds.). Handbook of the psychology of aging. New York: Van Nostrand Reinhold. 1977. P. 384–420.

123. Craik F.I.M., Byrd M. Aging and Cognitive Deficits // In: Craik F.I.M., Trehub S. (Eds.). Aging and Cognitive Processes. Advances in the Study of Communication and Affect. V. 8. Springer, Boston, MA. 1982. P. 191-211.

124. Cummins T.D., Finnigan S. Theta power is reduced in healthy cognitive aging // International Journal of Psychophysiology. 2007. V. 66. №. 1. P. 10–17.

125. Curtis C.E., D'Esposito M. Persistent activity in the prefrontal cortex during working memory // Trends in Cognitive Sciences. 2003. V. 7. №. 9. P. 415–423.

126. Dailey L., Mumford M.D. Evaluative aspects of creative thought: errors in appraising the implications of new ideas // Creativity research journal. 2006. V. 18. №. 3. P. 385–390.

127. Damoiseaux J.S., Beckmann C.F., Arigita E.S., Barkhof F., Scheltens P., Stam C.J., Rombouts S.A.R.B. Reduced resting-state brain activity in the "default network" in normal aging // Cerebral Cortex. 2008. V. 18. №. 8. P. 1856–1864.

128. Darowski, E.S., Helder, E., Zacks, R.T., Hasher, L. & Hambrick, D.Z. (2008). Age-related differences in cognition: The role of distraction control // Neuropsychology. 2008. V. 22. №. 5. P. 638-644.

129. Daselaar S., Fleck Dobbins I., Madden D., Cabeza R. Effects of healthy aging on hippocampal and rhinal memory functions: An event-related fMRI study // Cerebral Cortex. 2006. V. 16. №. 2. P. 1771–1782.

130. Davis K.L., Panksepp J., Normansell L. The Affective Neuroscience Personality Scales: Normative Data and Implications // Neuro-Psychoanalysis. 2003. V. 5. №. 1. P. 57-69.

131. Davis S.W., Dennis N.A., Daselaar S.M., Fleck M.S., Cabeza R. Que PASA? The posterior-anterior shift in aging // Cerebral Cortex. 2008. V. 18. №. 5. P. 1201-1209.

132. Dechent P., Merboldt K.D., Frahm J. Is the human primary motor cortex involved in motor imagery? // Brain research. Cognitive brain research. 2004. V. 19. №. 2. P. 138-144.

133. Deiber M.P., Ibañez V., Missonnier P., Rodriguez C., Giannakopoulos P. Age-associated modulations of cerebral oscillatory patterns related to attention control // Neuroimage. 2013. V.82. P. 531-546.

134. Deiber M.P., Meziane H.B., Hasler R., Rodriguez C., Toma S., Ackermann M., Herrmann F., Giannakopoulos P. Attention and Working Memory-Related EEG Markers of Subtle Cognitive Deterioration in Healthy Elderly Individuals // Journal of Alzheimer's disease. 2015. V. 47. №. 2. P. 335-349.

135. Delorme A., Makeig S. EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis // Journal of Neuroscience Methods. 2004. V. 134. № 1. P. 9-21.

136. Dennis N.A., Daselaar S., Cabeza R. Effects of aging on transient and sustained successful memory encoding activity // Neurobiology of Aging. 2007. V. 28. №. 11. P. 1749–1758.

137. Der G., Deary I.J. Age and sex differences in reaction time in adulthood: results from the United Kingdom Health and Lifestyle Survey // Psychology and aging. 2006. V. 21. №. 1. P. 62-73.

138. Diedrich J., Benedek M., Jauk E., Neubauer A.C. Are Creative Ideas Novel and Useful? // Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts American Psychological Association. 2015. V. 9. №. 1. P. 35–40.

139. Dietrich A. Functional neuroanatomy of altered states of consciousness: The transient hypofrontality hypothesis // Consciousness and Cognition. 2003. V. 12. №. 2. P. 231–256.

140. Dietrich A. The cognitive neuroscience of creativity // Psychonomic bulletin & review. 2004. V. 11. №. 6. P. 1011-1026.

141. Dietrich A. Who's afraid of a cognitive neuroscience of creativity? // Methods. 2007. V. 42. №. 1. P. 22-27.

142. Dietrich A., Kanso R. A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight // Psychological bulletin. 2010. V.136. №. 5. P. 822-848.

143. Donner T.H., Siegel M., Oostenveld R., Fries P., Bauer M., , Engel A.K. Population activity in the human dorsal pathway predicts the accuracy of visual motion detection // Journal of neurophysiology. 2007. V. 98. №. 1. P. 345–359.

144. Donner T.H., Siegel M.A. framework for local cortical oscillation patterns // Trends in Cognitive Sciences. 2011. V. 15. №. 5. P. 191-199.

145. Doppelmayr M., Klimesch W., Pachinger T., Ripper B. Individual differences in brain dynamics: important implications for the calculation of event-related band power // Biological Cybernetics. 1998. V. 79. №. 1. P. 49-57.

146. Dorbath L., Hasselhorn M., Titz C. Aging and Executive Functioning: A Training Study on Focus-Switching // Frontiers in Psychology. 2011. V. 2. Article 257.

147. Dreher J., Berman K.F. Fractionating the neural substrate of cognitive control processes // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2002. V. 99. №. 22. P. 14595–14600.

148. Driscoll I., Davatzikos C., An Y., Wu X., Shen D., Kraut M., Resnick S.M. Longitudinal pattern of regional brain volume change differentiates normal aging from MCI // Neurology. 2009. V. 72. №. 22. P. 1906–1913.

149. Edl S., Benedek M., Papousek I., Weiss E.M., Fink A. Creativity and the Stroop interference effect // Personality and Individual Differences. 2014. V. 69. P. 38–42.

150. Ehlers C.L., Kupfer D.J. Effects of age on delta and REM sleep parameters // Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. 1989. V. 72. №. 2. P. 118-125.

151. Elderkin-Thompson V., Ballmaier M., Hellemann G., Pham D., Kumar A. Executive function and MRI prefrontal volumes among healthy older adults // Neuropsychology. 2008. V. 22. №. 5. P. 626–637.

152. Ellamil M., Dobson C., Beeman M., Christoff K. Evaluative and generative modes of thought during the creative process // Neuroimage. 2012. V. 59. №. 2. P. 1783-1794.

153. Engel A.K., Fries P. Beta-band oscillations - signalling the status quo? // Current Opinion in Neurobiology. 2010. V. 20. №. 2. P. 156-165.

154. Erickson K.I., Raji C.A., Lopez O.L., Becker J.T., Rosano C., Newman A.B., Gach H.M., Thompson P.M., Ho A.J., Kuller L.H. Physical activity predicts gray

matter volume in late adulthood The Cardiovascular Health Study // Neurology. 2010. V. 75. №. 16. P. 1415-1422.

155. Erickson K.I., Gildengers A.G., Butters M.A. Physical activity and brain plasticity in late adulthood // Dialogues in Clinical Neuroscience. 2013. V. 15. №. 1. P. 99-108.

156. Fan J., McCandliss B.D., Sommer T., Raz A., Posner M.I. Testing the efficiency and independence of attentional networks // Journal of Cognitive Neuroscience. 2002. V. 14. №. 3. P. 340-347.

157. Faust M., Lavidor M. Semantically convergent and semantically divergent priming in the cerebral hemispheres: lexical decision and semantic judgment // Brain Research. Cognitive Brain Research. 2003. V. 17. №. 3. P. 585-597.

158. Federmeier K.D., Kutas M. Right words and left words: electrophysiological evidence for hemispheric differences in meaning processing // Brain Research. Cognitive Brain Research. 1999. V. 8. №. 3. P. 373-392.

159. Fink A., Grabner R.H., Benedek M., Neubauer A.C. Divergent thinking training is related to frontal electroencephalogram alpha synchronization // European Journal of Neuroscience. 2006. V. 23. №. 8. P. 2241-2246.

160. Fink A., Benedek M., Grabner R.H., Staudt B., Neubauer A.C. Creativity meets neuroscience: experimental tasks for the neuroscientific study of creative thinking // Methods. 2007. V. 42. №. 1. P. 68-76.

161. Fink, A., Neubauer, A.C. Eysenck meets Martindale: The relationship between extraversion and originality from the neuroscientific perspective // Personality and Individual Differences. 2008. V. 44. №. 1. P. 299–310.

162. Fink A., Graif B., Neubauer A.C. Brain correlates underlying creative thinking: EEG alpha activity in professional vs. novice dancers // NeuroImage. 2009А. V. 46. №. 3. P. 854–862.

163. Fink A., Grabner R.H., Benedek M., Reishofer G., Hauswirth V., Fally M., Neuper C., Ebner F., Neubauer A.C. The creative brain: Investigation of brain activity during creative problem solving by means of EEG and fMRI // Human Brain Mapping. 2009Б. V. 30. №. 3 P. 734-748.

164. Fink A., Grabner R.H., Gebauer D., Reishofer G., Koschutnig K., Ebner F. Enhancing creativity by means of cognitive stimulation: evidence from an fMRI study // Neuroimage. 2010. V. 52 1. №. 4. P. 1687-1695.

165. Fink A., Benedek M. EEG alpha power and creative ideation // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. 2014A. V. 44. №. 100. P. 111-123.

166. Fink A., Koschutnig K., Hutterer L., Steiner E., Benedek M., Weber B., Reishofer G., Papousek I., Weiss E.M. Gray matter density in relation to different facets of verbal creativity // Brain Structure & Function. 2014Б. V. 219. №. 4. P. 1263-1269.

167. Fink A., Weber B., Koschutnig K., Benedek M., Reishofer G., Ebner F., Papousek I., Weiss E.M. Creativity and schizotypy from the neuroscience perspective // Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience. 2014B. V. 14. №. 1. P. 378-387.

168. Finke R.A., Ward T.M., Smith S.M. Creative Cognition: Theory, Research and Applications // Cambridge, MA: MIT Press. 1992. 256 p.

169. Finkel D., Reynolds C.A., McArdle J.J., Pedersen N.L. The longitudinal relationship between processing speed and cognitive ability: genetic and environmental influences // Behavior Genetics. 2005. V. 35. № 5. P. 535-549.

170. Folley B.S., Park S. Verbal creativity and schizotypal personality in relation to prefrontal hemispheric laterality: a behavioral and near-infrared optical imaging study // Schizophrenia Research. 2005. V. 80. №. 2-3. P. 271-282.

171. Foos P.W., Boone D. Adult age differences in divergent thinking: It’s just matter of time // Educational Gerontology. 2008. V. 34. №. 1. P. 587–594.

172. Forgács B., Lukács A., Pléh C. Lateralized processing of novel metaphors: disentangling figurativeness and novelty // Neuropsychologia. 2014. V. 56. P. 101-109.

173. Fozard J.L., Vercryssen M., Reynolds S.L., Hancock P.A., Quilter R.E. Age differences and changes in reaction time: the Baltimore Longitudinal Study of Aging // Journal of Gerontology. 1994. V. 49. №. 4. P. 179-189.

174. Freunberger R., Werkle-Bergner M., Griesmayr B. Brain oscillatory correlates of working memory constraints // Brain Research. 2011. V. 1375. P. 93-102.

175. Friston K.J. Testing for anatomical specified regional effects // Human Brain Mapping. 1997. V. 5. P. 133-136.

176. Gaál Z.A., Boha R., Stam C.J., Molnár M. Age-dependent features of EEG-reactivity--spectral, complexity, and network characteristics // Neuroscience Letters. 2010. V. 479. №. 1. P. 79-84.

177. Gabora L. Creative thought as a non-Darwinian evolutionary process // Journal of Creative Behavior. 2005. V. 39. №. 4. P. 262-283.

178. Gaesser B., Sacchetti D.C., Addis D.R., Schacter D.L. Characterizing age-related changes in remembering the past and imagining the future // Psychology and Aging. 2011.V. 26. №. 1. P. 80–84.

179. Gajewski P.D., Falkenstein M. Age-Related Effects on ERP and Oscillatory EEG-Dynamics in a 2-Back Task // Journal of Psychophysiology. 2014. V. 28. №. 3. P. 162–177.

180. Gamboz N., Zamarian S., Cavallero C. Age-related differences in the attention network test (ANT) // Experimental Aging Research. 2010. V. 36. №. 3. P. 287-305.

181. Glisky E.L., Rubin S.R., Davidson P.S.R. Source memory in older adults: an encoding or retrieval problem? // Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition. 2001. V. 27. №. 5. P. 1131-1146.

182. Glisky E.L. Changes in Cognitive Function in Human Aging (Chapter 1) // In Riddle D.R. (Ed.). Brain Aging: Models, Methods, and Mechanisms. Boca Raton (FL): CRC Press/Taylor & Francis. 2007. P. 3-21.

183. Gola M., Kamiński J., Brzezicka A., Wróbel A. β band oscillations as a correlate of alertness--changes in aging // International Journal of Psychophysiology. 2012. V. 85. №. 1. P. 62-67.

184. Gola M., Magnuski M., Szumska I., Wróbel A. EEG beta band activity is related to attention and attentional deficits in the visual performance of elderly subjects // International Journal of Psychophysiology. 2013. V. 89 №. 3. P. 334-341.

185. Gold B.T., Kim C., Johnson N.F., Kryscio R.J., Smith C.D. Lifelong bilingualism maintains neural efficiency for cognitive control in aging // Journal of Neuroscience. 2013. V. 33. №. 2. P. 387–396.

186. Gold R., Faust M., Ben-Artzi E. Metaphors and verbal creativity: the role of the right hemisphere // Laterality. 2012. V. 17. №. 5. P. 602-614.

187. Goldman-Rakic P.S. The prefrontal landscape: implications of functional architecture for understanding human mentation and the central executive // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences. 1996. V. 351. №. 1346. P. 1445-1453.

188. Gómez-Herrero G. Automatic Artifact Removal (AAR) Toolbox v1.3 (Release 09.12. 2007) for MATLAB (Tampere University of Technology). 2007.

189. Gonen-Yaacovi G., de Souza L.C., Levy R., Urbanski M., Josse G., Volle E. Rostral and caudal prefrontal contributions to creativity: A meta-analysis of functional imaging data // Frontiers in Human Neuroscience. 2013. V. 7. Article 465.

190. Göschl F., Friese U., Daume J., König P., Engel A.K. Oscillatory signatures of crossmodal congruence effects: An EEG investigation employing a visuotactile pattern matching paradigm // Neuroimage. 2015. V. 116. P. 177-186.

191. Grabner R.H., Fink A., Neubauer A.C. Brain correlates of self-rated originality of ideas: Evidence from event-related power and phase-locking changes in the EEG // Behavioral neuroscience. 2007. 121. №. 1. 224-230.

192. Grady C.L., McIntosh A.R., Horwitz B., Rapoport S.I. Age-related changes in the neural correlates of degraded and nondegraded face processing // Cognitive Neuropsychology. 2000. V. 17. №. 1. P. 165–186.

193. Grech R., Cassar T., Muscat J., Camilleri K.P., Fabri S.G., Zervakis M., Xanthopoulos P., Sakkalis V., Vanrumste B. Review on solving the inverse problem in EEG source analysis // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. 2008. V. 5. Article 25.

194. Green A.E., Kraemer D.J., Fugelsang J.A., Gray J.R., Dunbar K.N. Semantic distance in analogical reasoning modulates frontopolar cortex activity // Cerebral Cortex. 2010. V. 20. P. 70–76.

195. Greene C.M., Soto D. Functional connectivity between ventral and dorsal frontoparietal networks underlies stimulus-driven and working memory-driven sources of visual distraction // Neuroimage. 2014. V. 84. P. 290-298.

196. Gruber T, Muller M.M. Oscillatory brain activity dissociates between associative stimulus content in a repetition priming task in the human EEG // Cerebral Cortex. 2005. V. 15. №. 1. P. 109-116.

197. Guilford J.P. Creativity // Am Psychol. 1950. V. 5. №. 9. P. 444–454.

198. Guilford J.P. Creativity: yesterday, today and tomorrow // Journal of creative behavior. 1967. V. 1. №. 1. P. 3–14.

199. Guilford J.P., Christensen P.R., Merrifield P.R., Wison R.C. Alternate uses: Manual of instructions and interpretation // Orange, CA: Sheridan Psychological Services. 1978.

200. Gunning-Dixon F.M., Raz N. Neuroanatomical correlates of selected executive functions in middle-aged and older adults: A prospective MRI study // Neuropsychologia. 2003. V. 41. №. 14. P. 1929–1941.

201. Güntekin B., Emek-Savaş D.D., Kurt P., Yener G.G., Başar E. Beta oscillatory responses in healthy subjects and subjects with mild cognitive impairment // NeuroImage. Clinical. 2013. V. 3. P. 39-46.

202. Gusnard D.A., Akbudak E., Shulman G.L., Raichle M.E. Medial prefrontal cortex and self-referential mental activity: relation to a default mode of brain function // Proceedings of the National Academy ofSciences of the United States of America. 2001. V. 98. №. 7. P. 4259-4264.

203. Gutchess A.H., Welsh R.C., Hedden T., Bangert A., Minear M., Liu L.L., Park D.C. Aging and the neural correlates of successful picture encoding: Frontal activations compensate for decreased medial temporal activity // Journal of Cognitive Neuroscience. 2005. V. 17. №. 1. P. 84–96.

204. Hall C.B., Lipton R.B., Sliwinski M., Katz M.J., Derby C.A., Verghese J. Cognitive activities delay onset of memory decline in persons who develop dementia // Neurology. 2009. V. 73. №. 5. P. 356– 361.

205. Hall S.A., Rubin D.C., Miles A., Davis S.W., Wing E.A., Cabeza R., Berntsen D. The neural basis of involuntary episodic memories // Journal of Cognitive Neuroscience. 2014. V. 26. №. 10. P. 2385-2399.

206. Hanakawa T., Immisch I., Toma K., Dimyan M.A., Van Gelderen P., Hallett M. Functional properties of brain areas associated with motor execution and imagery // Journal of Neurophysiology. 2003. V. 89. №. 2. P. 989-1002.

207. Händel B.F., Haarmeier T., Jensen O. Alpha oscillations correlate with the successful inhibition of unattended stimuli // Journal of Cognitive Neuroscience. 2011. V. 23. №. 9. P. 2494-2502.

208. Hanslmayr S., Staudigl T., Fellner M.C. Oscillatory power decreases and long-term memory: the information via desynchronization hypothesis // Frontiers in Human Neuroscience. 2012. V. 6. Article 74.

209. Hasher L., Tonev S.T., Lustig C., Zacks R.T. Inhibitory control, environmental support, and self-initiated processing in aging // In Naveh-Benjamin M., Moscovitch M., Roediger R.L. (Eds.). Perspectives on Human Memory and Cognitive Aging: Essays in Honour of Fergus Craik. East Sussex, UK: Psychology Press. 2001. P. 286-297.

210. Hashimoto Y., Ushiba J. EEG-based classification of imaginary left and right foot movements using beta rebound // Clinical Neurophysiology. 2013. V. 124. №. 11. P. 2153-2160.

211. Hassabis D., Kumaran D., Maguire E.A. Using imagination to understand the neural basis of episodic memory // Journal of Neuroscience. 2007. V. 27. №. 52 P. 14365–14374.

212. Hawkins J., Blakeslee S. On Intelligence: How a New Understanding of the Brain Will Lead to the Creation of Truly Intelligent Machines // New York, NY: Owl Books. 2007. 272 p.

213. Head D., Rodrigue K.M., Kennedy K.M., Raz N. Neuroanatomical and cognitive mediators of age-related differences in episodic memory // Neuropsychology. 2008. V. 22. №. 4. P. 491-507.

214. Head D., Kennedy K.M., Rodrigue K.M., Raz N. Age differences in perseveration: Cognitive and neuroanatomical mediators of performance on the Wisconsin Card Sorting Test // Neuropsychologia. 2009. V. 47. №. 4. P. 1200–1203.

215. Head D., Bugg J.M., Goate A., Fagan A.M., Mintun M.A., Benzinger T., Holtzman DM, Morris JC. (2012). Exercise engagement as a moderator of the effects of APOE genotype on amyloid deposition // Arch Neurol. 2012. V. 69. №. 5. P. 636-643.

216. Heilman K.M. Possible Brain Mechanisms of Creativity // Archives of Clinical Neuropsychology. 2016. V. 31. №. 4. P. 285-296.

217. Heinonen J., Numminen J., Hlushchuk Y., Antell H., Taatila V., Suomala J. Default Mode and Executive Networks Areas: Association with the Serial Order in Divergent Thinking // PLoS One. 2016. V. 11. №. 9. Article e0162234.

218. Hlinka J., Alexakis C., Diukova A., Liddle P.F., Auer D.P. Slow EEG pattern predicts reduced intrinsic functional connectivity in the default mode network: an inter-subject analysis // Neuroimage. 2010. V. 53. №. 1. P. 239-246.

219. Holroyd C.B., Nieuwenhuis S., Yeung N., Nystrom L., Mars R.B., Coles M.G., Cohen J.D. Dorsal anterior cingulate cortex shows fMRI response to internal and external error signals // Nature Neuroscience. 2004. V. 7. №. 5. P. 497-498.

220. Howard-Jones P.A. A dual-state model of creative cognition for supporting strategies that foster creativity in the classroom // International Journal of Technology and Design Education. 2002. V. 12. P. 215-226.

221. Howard-Jones P.A., Blakemore S.J., Samuel E.A., Summers I.R., Claxton G. Semantic divergence and creative story generation: an fMRI investigation // Brain Research. Cognitive Brain Research. 2005. V. 25. №. 1. P. 240-250.

222. Huang L.Y., She H.C., Chou W.C., Chuang MH, Duann JR, Jung TP. Brain oscillation and connectivity during a chemistry visual working memory task // International Journal of Psychophysiology. 2013. V. 90. № 2. P. 172-179.

223. Iidaka T., Okada T., Murata T., Omori M., Kosaka H., Sadato N., Yonekura Y. Age-related differences in the medial temporal lobe responses to emotional faces as revealed by fMRI // Hippocampus. 2002. V. 12. P. 352–362.

224. Iijima M., Mase R., Osawa M., Shimizu S., Uchiyama S. Event-Related Synchronization and Desynchronization of High-Frequency Electroencephalographic Activity during a Visual Go/No-Go Paradigm // Neuropsychobiology. 2015. V. 71. №. 1. P. 17-24.

225. Itthipuripat S., Wessel J.R., Aron A.R. Frontal theta is a signature of successful working memory manipulation // Experimental Brain Research. 2013. V. 224. №. 2. P. 255–262.

226. Ivanitsky A.M., Nikolaev A.R., Ivanitsky G.A. Cortical connectivity during word association search // International Journal of Psychophysiology. 2001. V. 42. № 1. P. 35-53.

227. Jaarsveld S., Fink A., Rinner M., Schwab D., Benedek M., Lachmann T. Intelligence in creative processes: An EEG study // Intelligence. 2015. V. 49. P. 171–178.

228. James L.E., Burke D.M., Austin A., Hulme E. Production and perception of “verbosity” in younger and older adults // Psychology and Aging. 1998. V. 13. №. 3. P. 355–367.

229. Jaquish G.A, Ripple R.E. Cognitive creative abilities and selfesteem across the adult life-span // Human Development. 1981. V. 24. №. 2. P. 110–119.

230. Järveläinen J., Schürmann M., Hari R. Activation of the human primary motor cortex during observation of tool use // Neuroimage. 2004. V. 23. №. 1. P. 187-192.

231. Jauˇsovec N., Jauˇsovec K., EEG activity during the performance of complex mental problems // International Journal of Psychophysiology. 2000. V. 36. №. 1. P. 73–88.

232. Jauk E., Benedek M., Aljoscha C. Neubauer A.C. Tackling creativity at its roots: Evidence for different patterns of EEG alpha activity related to convergent and divergent modes of task processing/ International Journal of Psychophysiology. 2012. V. 84. №. 2. P. 219–225.

233. Jefferies E. The neural basis of semantic cognition: Converging evidence from neuropsychology, neuroimaging and TMS // Cortex. 2013. V. 49. №. 3. P. 611-625.

234. Jenkins L., Myerson J., Joerding J.A., Hale S. Converging evidence that visuospatial cognition is more age-sensitive than verbal cognition // Psychology and Aging. 2000.V. 15. №. 1. P. 157-175.

235. Jennings J.M., Dagenbach D., Engle C.M., Funke L.J. Age-related changes and the Attention Network Task: An examination of alerting, orienting, and executive function // Neuropsychology, Development, and Cognition. Section B, Aging, Neuropsychology and Cognition. 2007. V. 14. №. 4. P. 353–369.

236. Jeste D.V., Depp C.A., Vahia I.V. Successful cognitive and emotional aging // World Psychiatry. 2010. V. 9. №. 2. P. 78–84.

237. Johnson C.M., Sullivan-Marx E.M. Art Therapy: Using the Creative Process for Healing and Hope Among African American Older Adults // Geriatric Nursing. 2006. V. 27. №. 5. P. 309–316.

238. Jones D.T., Machulda M.M., Vemuri P., McDade E.M., Zeng G., Senjem M.L., Gunter J.L., Przybelski S.A., Avula R.T., Knopman D.S., Boeve B.F., Petersen

R.C., Jack C.R . Age-related changes in the default mode network are more advanced in Alzheimer disease // Neurology. 2011. V. 77. P. 1524–1531.

239. Jung R.E., Segall J.M., Jeremy Bockholt H., Flores R.A., Smith S.M., Chavez R.S., Haier R.J. Neuroanatomy of creativity // Human Brain Mapping. 2010. V. 31. №. 3. P. 398-409.

240. Jung-Beeman M., Bowden E.M., Haberman J., Frymiare J.L., Arambel-Liu S., Greenblatt R., Reber P.J., Kounios J. Neural activity when people solve verbal problems with insight // PLoS Biology. 2004. V. 2. №. 4. Article E97.

241. Karlamangla A.S., Miller-Martinez D., Aneshensel C.S., Seeman T.E., Wight R.G., Chodosh J. Trajectories of cognitive function in late life in the United States: demographic and socioeconomic predictors // American Journal of Epidemiology. 2009. V. 170. №. 3. P. 331-42.

242. Karrasch M., Laine M., Rapinoja P., Krause C.M. Effects of normal aging on event-related desynchronization/synchronization during a memory task in humans // Neuroscience Letters. 2004. V. 366. №. 1. P. 18-23.

243. Kaufman A.S., Johnson C.K., Liu X. A CHC theory- based analysis of age differences on cognitive abilities and academic skills at ages 22 to 90 years // Journal of Psychoeducational Assessment. 2008. V. 26. №. 4. P. 350– 381.

244. Kawamata M., Kirino E., Inoue R., Arai H. Event-related desynchronization of frontal-midline theta rhythm during preconscious auditory oddball processing // Clinical EEG and Neuroscience. 2007. V. 38. № 4. P. 193-202.

245. Keil A., Muller M.M., Ray W.J., Gruber T., Elbert T. Human gamma band activity and perception of a Gestalt // Journal of Neuroscience. 1999. V. 19. №. 16. P. 7152-7161.

246. Kelly A.M., Uddin L.Q., Biswal B.B., Castellanos F.X., Milham M.P. Competition between functional brain networks mediates behavioral variability // Neuroimage. 2008. V. 39. №. 1. P. 527–537.

247. Kemper S., Kemtes K. Aging and message production and comprehension // In Schwarz N., Park D.C., Knauper B., Sudman S. (Eds.). Cognition, aging, and self-reports. Hove, England: Psychology Press. 1999. P. 229–244.

248. Kerns J.G., Cohen J.D., MacDonald A.W. 3rd, Cho R.Y., Stenger V.A., Carter C.S. Anterior cingulate conflict monitoring and adjustments in control // Science. 2004. V. 303. №. 5660. P. 1023–1026.

249. Khursheed F., Tandon N., Tertel K., Pieters T.A., Disano M.A., Ellmore T.M. Frequency-specific electrocorticographic correlates of working memory delay period fMRI activity // Neuroimage. 2011. V. 56. № 3. P. 1773- 1782.

250. Kim K.H. Can We Trust Creativity Tests? A Review of the Torrance Tests of Creative Thinking (TTCT) // Creativity Research Journal. 2006. V. 18. №. 1. P. 3–14.

251. Kim K.H. Meta-analyses of the relationship of creative achievement to both IQ and divergent thinking test scores // Journal of Creative Behavior. 2008. V. 42. P. 106–130.

252. Kleinmintz O.M., Abecasis D., Tauber A., Geva A., Chistyakov A.V., Kreinin I., Klein E., Shamay-Tsoory S.G. Participation of the left inferior frontal gyrus in human originality // Brain structure & function. 2018. V. 223. №. 1. P. 329-341.

253. Klimesch W., Doppelmayr M., Russegger H., Pachinger T. Theta band power in the human scalp EEG and the encoding of new information // NeuroReport. 1996. V. 7. №. 7. P. 1235–1240.

254. Klimesch W., Doppelmayr M., Pachinger T., Russegger H. Event-related desynchronization in the alpha band and the processing of semantic information // Brain Research. Cognitive Brain Research. 1997. V. 6. №. 2. P. 83–94.

255. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis // Brain research. Brain research reviews. 1999. V. 29. № 2–3. P. 169-195.

256. Klimesch W., Doppelmayr M., Hanslmayr S. Upper alpha ERD and absolute power: Their meaning for memory performance // Progress in brain research. 2006. V. 159. P. 151-165.

257. Klimesch W. Sauseng P. Hanslmayr S. EEG alpha oscillations: The inhibition-timing hypothesis // Brain Research Reviews. 2007. V. 53. №. 1. P. 63–88.

258. Klimesch W., Freunberger R., Sauseng P., Gruber W. A short review of slow phase synchronization and memory: evidence for control processes in different memory systems? // Brain research. 2008. V. 1235. P. 31-44.

259. Klimesch W. Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information // Trends in cognitive sciences. 2012. V. 16. № 12. P. 606-617.

260. Knyazev G.G. Motivation, emotion, and their inhibitory control mirrored in brain oscillations // Neuroscience and biobehavioral reviews. 2007. V. 31. №. 3. P. 377-395.

261. Knyazev G.G., Slobodskoj-Plusnin J.Y., Bocharov A.V. Event-related delta and theta synchronization during explicit and implicit emotion processing // Neuroscience. 2009. V. 164. №. 4. P. 1588-1600.

262. Knyazev G.G., Volf N.V., Belousova L.V. Age-related differences in electroencephalogram connectivity and network topology // Neurobiology of aging. 2015A.V. 36. №. 5. P.1849-1859.

263. Knyazev G.G., Savostyanov A.N., Bocharov A.V., Dorosheva E.A., Tamozhnikov S.S., Saprigyn A.E. Oscillatory correlates of autobiographical memory // Internatuonal Journal of Psychophysiology. 2015Б. V. 95. №. 3. P. 322-332.

264. Kober S.E., Reichert J.L., Neuper C., Wood G. Interactive effects of age and gender on EEG power and coherence during a short-term memory task in middle-aged adults // Neurobiology of aging. 2016. V. 40. P. 127-137.

265. Koestler A. The Act of Creation // The Macmillan Company, New York. 1964. 751 p.

266. Kotchoubey B. Event-related potentials, cognition, and behavior: A biological approach // Neuroscience and Biobehavioral Reviews. 2006. V. 30. №. 1. P. 42–65.

267. Krause C.M., Grönholm P., Leinonen A., Laine M., Säkkinen A.L., Söderholm C. Modality matters: the effects of stimulus modality on the 4- to 30-Hz brain electric oscillations during a lexical decision task // Brain research. 2006. V. 1110. № 1. P. 182-192.

268. Kropotov J.D., Ponomarev V.A., Hollup S., Mueller A. Dissociating action inhibition, conflict monitoring and sensory mismatch into independent

components of event related potentials in GO/NOGO task // Neuroimage. 2011. V. 57. №. 2. P. 565-575.

269. Kropotov J., Ponomarev V., Tereshchenko E.P., Müller A., Jäncke L. Effect of Aging on ERP Components of Cognitive Control // Frontiers in aging neuroscience. 2016. V. 8. Article 69.

270. Kröger S, Rutter B, Stark R, Windmann S, Hermann C, Abraham A. Using a shoe as a plant pot: neural correlates of passive conceptual expansion // Brain Research. 2012. V. 1430. P. 52-61.

271. Kröger S., Rutter B., Hill H., Windmann S., Hermann C., Abraham A. An ERP study of passive creative conceptual expansion using a modified alternate uses task // Brain Research. 2013. V. 1527. P. 189-198.

272. Kukleta M., Bob P., Brázdil M., Roman R., Rektor I. Beta 2-band synchronization during a visual oddball task // Physiological research. 2009. V. 58. №. 5. P. 725-732.

273. Lacombe J., Jolicoeur P., Grimault S., Grimault S., Pineault J., Joubert S. Neural changes associated with semantic processing in healthy aging despite intact behavioral performance // Brain and language. 2015. V. 149. P. 118-127.

274. Landau S.M., Marks S.M., Mormino E.C., Rabinovici G.D., Oh H., O'Neil J.P., Wilson R.S., Jagust W.J. Association of lifetime cognitive engagement and low beta-amyloid deposition // Archives of neurology. 2012. V. 69. №. 5. P. 623–629.

275. Laufs H., Krakow K., Sterzer P., Eger E., Beyerle A., Salek-Haddadi A., Kleinschmidt A. Electroencephalographic signatures of attentional and cognitive default modes in spontaneous brain activity fluctuations at rest // Proceedings of the National Academy ofSciences of the United States of America. 2003. V. 100. №. 19. P. 11053-11058.

276. Leech R., Sharp D.J. The role of the posterior cingulate cortex in cognition and disease // Brain. 2014. V. 137 (Pt 1). P. 12-32.

277. Leirer V.M., Wienbruch C., Kolassa S., Schlee W., Elbert T., Kolassa I.T. Changes in cortical slow wave activity in healthy aging // Brain Imaging and Behavior. 2011. V. 5. №. 3. P. 222-228.

278. Leon S.A., Altmann L.J.P., Abrams L., Rothi L.J.G., Heilman K.M. Divergent Task Performance in Older Adults: Declarative Memory or Creative Potential? // Creativity research journal. 2014.V. 26. №. 1. P. 21–29.

279. Leshikar E.D., Gutchess A.H., Hebrank A.C., Sutton B.P., Park D.C. The impact of increased relational encoding demands on frontal and hippocampal function in older adults // Cortex. 2010. V. 46. №.4. P. 507–521.

280. Levine B.K., Beason-Held L.L., Purpura K.P., Aronchick D.M., Optican L.M., Alexander G.E., Horwitz B., Rapoport S.I., Schapiro M.B. Age-related differences in visual perception: A PET study // Neurobiology of aging. 2000. V. 21. №. 4. P. 577–584.

281. Levine B.K., Svoboda E., Hay J.F., Winocur G., Moscovitch M. Aging and autobiographical memory: dissociating episodic from semantic retrieval // Psychology and aging. 2002. V. 17. №. 4. P. 677-689.

282. Lewis A.G., Bastiaansen M. A predictive coding framework for rapid neural dynamics during sentence-level language comprehension // Cortex. 2015. V. 68. P. 155-168.

283. Lewis A.G., Wang L., Bastiaansen M. Fast oscillatory dynamics during language comprehension: Unification versus maintenance and prediction? // Brain and language. 2015. V. 148. P. 51-63.

284. Libet B.W. Timing of conscious experience: Reply to the 2002 commentaries on Libet's findings // Consciousness and Cognition. 2003. V. 12. №. 3. P. 321-331.

285. Light L.L. The organization of memory in old age // In: Craik F.I.M, Salthouse T.A. (Eds.). The Handbook of Aging and Cognition. Erlbaum; Hillsdale, NJ. 1992. P. 111-165.

286. Lindell A.K. On the interrelation between reduced lateralization, schizotypy, and creativity // Frontiers in psychology. 2014. V. 5. Article 813.

287. Liu S., Erkkinen M.G., Healey M.L., Xu Y., Swett K.E., Chow H.M., Braun A.R. Brain activity and connectivity during poetry composition: Toward a multidimensional model of the creative process // Human Brain Mapping. 2015. V. 36. №. 9. P. 3551–3372.

288. López-Loeza E., Rangel-Argueta A.R., López-Vázquez M.Á., Cervantes M., Olvera-Cortés ME. Differences in EEG power in young and mature healthy adults during an incidental/spatial learning task are related to age and execution efficiency // Age (Dordr). 2016. V. 38. №. 2. Article 37.

289. Lovden M., Wenger E., Martensson J., Lindenberger U., Backman L. Structural brain plasticity in adult learning and development // Neuroscience and Biobehavioral Reviews. 2013. V. 37. №. 9. P. 2296–2310.

290. Luo L., Craik F.I.M. Age differences in recollection: Specificity effects at retrieval // Journal of Memory and Language. 2009. V. 60. P. 421–436.

291. Lustenberger C., Boyle M.R., Foulser A.A., Mellin J.M., Fröhlich F. Functional role of frontal alpha oscillations in creativity // Cortex. 2015. V. 67. P. 74 - 82.

292. Lustig C., Snyder A.Z., Bhakta M., O'Brien K.C., McAvoy M., Raichle M.E., Morris J.C., Buckner R.L. Functional deactivations: change with age and dementia of the Alzheimer type // Proceedings of the National Academy ofSciences of the United States of America. 2003. V. 100. №. 24. P. 14504–14509.

293. Luu P., Tucker D.M., Makeig S. Frontal midline theta and the error-related negativity: neurophysiological mechanisms of action regulation // Clinical Neurophysiology. 2004. V. 115. №. 8. P. 1821-1835.

294. Madden D.J., Turkington T.G., Provenzale J.M., Hawk T.C., Hoffman J.M., Coleman R.E. Selective and divided visual attention: Age-related changes in regional cerebral blood flow measured by H2(15)O PET // Human Brain Mapping. 1997. V. 5. №. 6. P. 389–409.

295. Madore K.P., Jing H.G., Schacter D.L. Divergent creative thinking in young and older adults: Extending the effects of an episodic specificity induction // Memory & cognition. 2016. V. 44. №. 6. P. 974-988.

296. Magyari L., Bastiaansen M.C.M., de Ruiter J.P., Levinson S.C. Early anticipation lies behind the speed of response in conversation // Journal of cognitive neuroscience. 2014 V. 26. №. 11. P. 2530-2539.

297. Makeig S. Auditory Event-Related Dynamics of the EEG Spectrum and Effects of Exposure to Tones // Electroencephalography and clinical neurophysiology. 1993. V. 86. № 4. P. 283-293.

298. Mann S.L., Hazlett E.A., Byne W., Hof P.R., Buchsbaum M.S., Cohen B.H., Goldstein K.E., Haznedar M.M., Mitsis E.M., Siever L.J., Chu K.W. Anterior and Posterior Cingulate Cortex Volume in Healthy Adults: Effects of Aging and Gender Differences // Brain Research. 2011. V. 1401. P. 18–29.

299. Mantini D., Perrucci M.G., Del Gratta C., Romani G.L., Corbetta M. Electrophysiological signatures of resting state networks in the human brain // Proceedings of the National Academy ofSciences of the United States of America. 2007. V. 104. №. 32. P. 13170-13175.

300. Martin P., Kelly N., Kahana B., Kahana E., Willcox B.J., Willcox D.C., Poon L. W. Defining Successful Aging: A Tangible or Elusive Concept? // The Gerontologist. 2015. V. 55. №. 1. P. 14–25.

301. Martindale C., Hines D., Mitchell L., Covello E. EEG alpha asymmetry and creativity // Personality and Individual Differences. 1984. V. 5. №. 1. P. 77–86.

302. Mashal N., Vishne T., Laor N. The role of the precuneus in metaphor comprehension: evidence from an fMRI study in people with schizophrenia and healthy participants // Frontiers in Human Neuroscience. 2014. 8:818.

303. Mason M.F., Norton M.I., Van Horn J.D., Wegner D.M., Grafton S.T., Macrae C.N. Wandering minds: the default network and stimulus-independent thought // Science. 2007. V. 315. №. 5810. P. 393-395.

304. Mata R., von Helversen B., Rieskamp J. Learning to choose: Cognitive aging and strategy selection learning in decision making // Psychology and Aging. 2010. V. 25. №. 2. P. 299–309.

305. Mayseless N., Aharon-Peretz J., Shamay-Tsoory S. Unleashing creativity: The role of left temporoparietal regions in evaluating and inhibiting the generation of creative ideas // Neuropsychologia. 2014. V. 64. P. 157-168.

306. Mayseless N., Eran A., Shamay-Tsoory S.G. Generating original ideas: The neural underpinning of originality // Neuroimage. 2015. V. 116. P. 232-239.

307. McCrae R.R., Arenberg D., Costa P.T.Jr. Declines in divergent thinking with age: cross-sectional, longitudinal, and cross-sequential analyses // Psychology and Aging. 1987. V. 2. №. 2. P. 130-137.

308. McDowd J.M., Craik F.I.M. Effects of aging and task difficulty on divided attention performance // Journal of Experimental Psychology Human Perception & Performance. 1988. V. 14. №. 2. P. 267–280.

309. McFadden S.H., Basting A.D. Healthy aging persons and their brains: promoting resilience through creative engagement // Clinics in Geriatric Medicine. 2010. V. 26. №. 1. P. 149-161.

310. Mednick S.A. The associative basis of the creative process // Psychological Review. 1962. V. 69. №. 3. P. 220– 232.

311. Meijer W.A., de Groot R.M., van Gerven P.M., van Boxtel M.J., Jolles J. Level of processing and reaction time in young and middle-aged adults and the effect of education // European Journal of Cognitive Psychology. 2009. V. 21. №. 2-3. P. 216–234.

312. Mendelsohn G.A., Griswold B.B. Assessed creative potential, vocabulary level, and sex as predictors of the use of incidental cues in verbal problem solving // Journal of Personality and Social Psychology. 1966. V. 4. №. 4. P. 423-431.

313. Mendelsohn G.A. Associative and attentional processes in creative performance // Journal of Personality. 1976. V. 44. №. 2. P. 341–369.

314. Miller S.L., Celone K., DePeau K., Diamond E., Dickerson B.C., Rentz D., Pihlajamaki M., Sperling R.A. Age-related memory impairment associated with loss of parietal deactivation but preserved hippocampal activation // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2008. V. 105. №. 6. P. 2181–2186.

315. Missonnier P., Herrmann F.R., Rodriguez C., Deiber M.P., Millet P., Fazio-costa L., Gold G., Giannakopoulos P. Age-related differences on event-related potentials and brain rhythm oscillations during working memory activation // Journal of Neural Transmission (Vienna). 2011. V. 118. №. 6. P. 945-955.

316. Moody H.R. From successful aging to conscious aging // In Wykle M., Whitehouse P., Morris D. (Eds.). Successful aging through the life span: Intergenerational issues in health. New York: Springer. 2005. P. 55–68.

317. Nagahama Y., Fukuyama H., Yamauchi H., Katsumi Y., Magata Y., Shibasaki H., Kimura J. Age-related changes in cerebral blood flow activation during a card sorting test // Experimental Brain Research. 1997. V. 114. №. 3. P. 571–577.

318. Neuper C., Pfurtscheller G. Event-related dynamics of cortical rhythms: frequency-specific features and functional correlates // International Journal of Psychophysiology. 2001. V. 43. №. 1. P. 41–58.

319. Neuper C., Wörtz M., Pfurtscheller G. ERD/ERS patterns reflecting sensorimotor activation and deactivation // Progress in Brain Research. 2006. V. 159. P. 211-222.

320. Nunez P.L., Silberstein R.B., Cadusch P.J., Wijesinghe R.S., Westdorp A.F., Srinivasan R. A theoretical and experimental study of high resolution EEG based on surface Laplacians and cortical imaging // Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. 1994. V. 90. №. 1. P. 40-57.

321. Nunez P.L., Silberstein R.B. On the relationship of synaptic activity to macroscopic measurements: does co-registration of EEG with fMRI make sense? // Brain Topography. 2000. V. 13. №. 2. P. 79-96.

322. Nyhus E., Curran T. Functional role of gamma and theta oscillations in episodic memory // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. 2010 V. 34. №. 7. P. 1023–1035.

323. Palmiero M., Giacomo D.D., Passafiume D. Divergent Thinking and Age-Related Changes // Creativity research journal. 2014. V. 26. №. 4. P. 456–460.

324. Palmiero M. The effects of age on divergent thinking and creative objects production: A cross-sectional study // High Ability Studies. 2015. V. 26. P. 93–104.

325. Palmiero M., Di Giacomo D., Passafiume D. Can creativity predict cognitive reserve? // Journal of creative behavior.. 2016. V. 50. №. 1. P. 7–23.

326. Palmiero M., Nori R., Piccardi L. Verbal and visual divergent thinking in aging // Experimental Brain Research. 2017. V. 235. №. 4. P. 1021–1029.

327. Pandya D.N., Kuypers H.G. Cortico-cortical connections in the rhesus monkey // Brain Research. 1969. V. 13. №. 1. P. 13–36.

328. Parisi J.M., Xia J., Spira A.P., Xue Q.L., Rieger M.L., Rebok G.W., Carlson M.C. The Association Between Lifestyle Activities and Late-Life Depressive Symptoms // Activities, Adaptation & Aging. 2014. V. 38. №. 1. P. 1-10.

329. Park D.C., Lautenschlager G., Hedden T., Davidson N.S., Smith A.D., Smith P.K. Models of visuospatial and verbal memory across the adult life span // Psychology and Aging. 2002. V. 17. №. 2. P. 299–320.

330. Park D.C., Reuter-Lorenz P. The adaptive brain: aging and neurocognitive scaffolding // Annual Review of Psychology. 2009. V. 60. P. 173–196.

331. Park D.C., Bischof G.N. The aging mind: neuroplasticity in response to cognitive training // Dialogues in Clinical Neuroscience. 2013. V. 15. №. 1. P. 109-119.

332. Park C.H., Chang W.H., Lee M., Kwon G.H., Kim L., Kim S.T., Kim Y.H. Which motor cortical region best predicts imagined movement? // Neuroimage. 2015. V. 113. P. 101-110.

333. Pascual-Marqui R.D. Standardized low resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details // Methods and Findings in Experimental and Clinical Pharmacology. 2002. V. 24 (Suppl D). P. 5–12.

334. Pastötter B., Dreisbach G., Bäuml K.H. Dynamic adjustments of cognitive control: oscillatory correlates of the conflict adaptation effect // Journal of Cognitive Neuroscience. 2013. V. 25. №. 12: P. 2167-2178.

335. Patterson K., Nestor P.J., Rogers T.T. Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain // Nature Reviews Neuroscience. 2007. V. 8. №. 12. P. 976-987.

336. Payne L., Sekuler R. The importance of ignoring: Alpha oscillations protect selectivity // Current Directions in Psychological Science. 2014. V. 23. № 3. P. 171-177.

337. Peters E., Finucane M.L., MacGregor D.G., Slovic P. The bearable lightness of aging: Judgment and decision pro-cesses in older adults // In Stern P.C., Carstensen L.L. (Eds.). The aging mind: Opportunities in cognitive research. Washington, DC: National Academies Press. 2000. P. 144– 165.

338. Petersen S.E., Posner M.I. The attention system of the human brain: 20 years after // Annual Review of Neuroscience. 2012. V. 35. P. 73-89.

339. Petsche H. Approaches to verbal, visual and musical creativity by EEG coherence analysis // International Journal of Psychophysiology. 1996. V. 24. №. 1-2. P. 145–159.

340. Pfefferbaum A., Sullivan E.V., Rosenbloom M.J., Mathalon D.H., Lim K.O. A controlled study of cortical gray matter and ventricular changes in alcoholic men over a 5-year interval // Archives of General Psychiatry. 1998. V. 55. №. 10. P. 905–912.

341. Pfurtscheller G., Lopes da Silva F.H. Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles // Clinical Neurophysiology. 1999. V. 110. №. 11. P. 1842-1857.

342. Pfurtscheller G. Functional brain imaging based on ERD/ERS // Vision Research. 2001. V. 41. №. 10-11. P. 1257–1260.

343. Pfurtscheller G. Induced Oscillations in the Alpha Band: Functional Meaning // Epilepsia. 2003. V. 44(Suppl. 12). P. 2–8.

344. Pineda J.A. The functional significance of mu rhythms: translating "seeing" and "hearing" into "doing" // Brain research. Brain research reviews. 2005. V. 50. N. 1. P. 57-68.

345. Pineda J.A., Hecht E. Mirroring and mu rhythm involvement in social cognition: are there dissociable subcomponents of theory of mind? // Biological psychology. 2009. V. 80. №. 3. P. 306-314.

346. Piolino P., Desgranges B., Benali K., Eustache F. Episodic and semantic remote autobiographical memory in ageing // Memory. 2002. V. 10. №. 4. P. 239–257.

347. Plassman B.L.,Williams J.W., Burke J.R., Holsinger T., Benjamin S. Systematic review: factors associated with risk for and possible prevention of cognitive decline in later life // Annals of internal medicine. 2010. V. 153. №. 3. P. 182–193.

348. Plucker J.A. Is the proof in the pudding? Reanalyses of Torrance's (1958 to present) longitudinal data // Creativity Research Journal. 1999. V. 12. №. 2. P. 103–114.

349. Polli F.E., Barton J.J., Cain M.S., Thakkar K.N., Rauch S.L., Manoach D.S. Rostral and dorsal anterior cingulate cortex make dissociable contributions during antisaccade error commission // Proceedings of the National Academy ofSciences of the United States of America. 2005. V. 102. №. 43. P. 15700-15705.

350. Pratt M.W., Robins S.L. That’s the way it was: Age differences in the structure and quality of adult’s personal narratives // Discourse Processes. 1991. V. 14. №. 1. P. 73–85.

351. Price K.A., Tinker A.M. Creativity in later life // Maturitas. 2014. V. 78. №. 4. P. 281-286.

352. Pulvermüller F., Birbaumer N., Lutzenberger W., Mohr B. High-frequency brain activity: its possible role in attention, perception and language processing // Progress in Neurobiology. 1997. V. 52. №. 5. P. 427-445.

353. Qiu J., Li H., Yang D., Luo Y., Li Y., Wu Z., Zhang Q. The neural basis of insight problem solving: An event-related potential study // Brain and Cognition. 2008. V. 68. № 1. P. 100-106.

354. Radel R., Davranche K., Fournier M., Dietrich A. The role of (dis)inhibition in creativity: Decreased inhibition improves idea generation // Cognition. 2015. V. 134. P. 110-120.

355. Raichle M.E., Snyder A.Z. A default mode of brain function: a brief history of an evolving idea // Neuroimage. 2007. V. 37. №. 4. P. 1083–1090.

356. Rauschecker J.P., Tian B. Mechanisms and streams for processing of "what" and "where" in auditory cortex // Proceedings of the National Academy ofSciences of the United States of America. 2000. V. 97. №. 22. P. 11800-11806.

357. Raz N. Aging of the brain and its impact on cognitive performance: Integration of structural and functional findings // In: Craik F.I.M., Salthouse T.A. (Eds.). The handbook of aging and cognition. Mahwah, NJ: Erlbaum. 2000. P. 1–90.

358. Raz N., Rodrigue K.M., Head D., Kennedy K.M., Acker J.D. Differential aging of the medial temporal lobe: a study of a five-year change // Neurology. 2004. V. 62. №. 3. P. 433–438.

359. Raz N., Lindenberger U., Rodrigue K.M., Kennedy K.M., Head D., Williamson A., et al. Regional brain changes in aging healthy adults: General trends, individual differences and modifiers // Cerebral Cortex. 2005. V. 15. №. 11. P. 1676–1689.

360. Razumnikova O.M. Functional organization of different brain areas during convergent and divergent thinking: an EEG investigation // Brain Research. Cognitive Brain Research. 2000. V. 10. №. 1-2. P. 11–18.

361. Razumnikova O.M. Creativity related cortex creativity in the remote associates task // Brain Research Bulletin. 2007. V. 73. №. 1-3. P. 96-102.

362. Razumnikova O.M., Volf N.V., Tarasova I.V. Creativity associated beta2-oscillations in men and women // Advances in biomedical research. Proceedings of the

International Conference on Medical physiology (PHYSIOLOGY \"10): University of Cambridge, UK. 2010. P. 229-237.

363. Reed B.R., Dowling M., Tomaszewski Farias S., Sonnen J., Strauss M., Schneider J.A., Bennett D.A., Mungas D. Cognitive activities during adulthood are more important than education in building reserve // Journal of the International Neuropsychological Society. 2011. V. 17. №. 4. P. 615–624.

364. Reese H.W., Lee L.J., Cohen S.H., Puckett J.M. Effects of intellectual variables, age, and gender on divergent thinking in adulthood // International Journal of Behavioral Development. 2001. V. 25. №. 6. P. 491–500.

365. Reuter-Lorenz P., Sylvester C.Y. The cognitive neuroscience of working memory and aging // In Cabeza R., Nyberg L., Park D.L. (Eds.) Cognitive neuroscience of aging. New York: Oxford University Press. 2005. P. 186–217.

366. Reuter-Lorenz P.A., Cappell K.A. Neurocognitive Aging and the Compensation Hypothesis // Current Directions in Psychological Science. 2008. V. 17. №. 3. P. 177-182.

367. Reuter-Lorenz P.A., Park D.C. How Does it STAC Up? Revisiting the Scaffolding Theory of Aging and Cognition // Neuropsychology review. 2014. V. 24. №. 3. P. 355–370.

368. Roskos-Ewoldsen B., Black S.R., McCown S.M. Age-related Changes in Creative Thinking // The Journal of Creative Behavior. 2008. V. 42. №. 1. P. 33–59.

369. Rominger C., Papousek I., Perchtold CM., Weber B., Weiss EM., Fink A. The creative brain in the figural domain: Distinct patterns of EEG alpha power during idea generation and idea elaboration // Neuropsychologia. 2018. pii: S0028-3932(18)30070-8. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.02.013. [Epub ahead of print]

370. Roux F., Uhlhaas P.J. Working memory and neural oscillations: α-γ versus θ-γ codes for distinct WM information? // Trends in cognitive sciences. 2014. V. 18. №. 1. P. 16-25.

371. Rowe J.W., Kahn R. L. Successful Aging // The Gerontologist. 1997. V. 37. №. 4. P. 433–440.

372. Rowe G., Hirsh J.B., Anderson A.K. Positive affect increases the breadth of attentional selection // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2007. V. 104. №. 1. P. 383-388.

373. Runco M.A., Yoruk S. The Neuroscience of Divergent Thinking // Activitas Nervosa Superior. 2014. V. 56. №. 1–2. P. 1–16.

374. Ruth J., Birren J.E. Creativity in adulthood and old age: Relations to intelligence, sex and mode of testing // International Journal of Behavioral Development. 1985. V. 8. №. 1. P. 99–109.

375. Rutter B., Kröger S., Stark R., Schweckendiek J., Windmann S., Hermann C., Abraham A. Can clouds dance? Neural correlates of passive conceptual expansion using a metaphor processing task: Implications for creative cognition // Brain and cognition. 2012. V. 78. №. 2. P. 114-122.

376. Sala-Llonch R, Bartrés-Faz D, Junqué C. Reorganization of brain networks in aging: a review of functional connectivity studies // Frontiers in psychology. 2015. V. 6. Article 663.

377. Salisbury D.F., Taylor G. Semantic priming increases left hemisphere theta power and intertrial phase synchrony // Psychophysiology. 2012. V. 49. №. 3. P. 305-311.

378. Salthouse T.A. Effects of age and skill in typing // Journal of experimental psychology. General. 1984. V. 113. №. 3. P. 345-371.

379. Salthouse T.A. The processing-speed theory of adult age differences in cognition // Psychological review. 1996. V. 103. №. 3. P. 403–428.

380. Salthouse T.A., Ferrer-Caja E. What needs to be explained to account for age related effects on multiple cognitive variables? // Psychology and aging. 2003. V. 18. №. 1. P. 91-110.

381. Salthouse T.A. Localizing age-related individual differences in a hierarchical structure // Intelligence. 2004. V. 32. №. 6. P. 541-561.

382. Sauseng P., Griesmayr B., Freunberger R., Klimesch W. Control mechanisms in working memory: a possible function of EEG theta oscillations // Neuroscience and biobehavioral reviews. 2010. V. 34. №. 7. P. 1015-1022.

383. Sawyer R. K. Explaining Creativity: The Science of Human Innovation // Oxford University press, Inc. 2012. 568 p.

384. Scarmeas N., Zarahn E., Anderson K.E., Honig L.S., Park A., Hilton J., Flynn J., Sackeim H.A., Stern Y. Cognitive reserve-mediated modulation of positron

emission tomographic activations during memory tasks in Alzheimer disease // Archives of neurology. 2004. V. 61. №. 1. P. 73–78.

385. Schacter D.L., Addis D.R. On the constructive episodic simulation of past and future events // Behavioral and Brain Sciences. 2007. V. 30. №. 3. P. 331-332.

386. Schacter D.L., Gaesser B., Addis D.R. Remembering the past and imagining the future in the elderly // Gerontology. 2013. V. 59. №. 2. P. 143-151.

387. Scheeringa R., Petersson K.M., Kleinschmidt A., Jensen O., Bastiaansen M.C. EEG α power modulation of fMRI resting-state connectivity // Brain connectivity. 2012. V. 2. № 5. P. 254-264.

388. Schmidt G.L., DeBuse C.J., Seger C.A. Right hemisphere metaphor processing? Characterizing the lateralization of semantic processes // Brain and language. 2007. V. 100. №. 2. P.127-241.

389. Schwab D., Benedek M., Papousek I. Weiss E.M., Fink A. The time-course of EEG alpha power changes in creative ideation // Frontiers in human neuroscience. 2014. V. 8. Article 310.

390. Schweizer T.A.,Ware J., Fischer C.E., Craik F.I.M., Bialystok E. Bilingualism as a contributor to cognitive reserve: evidence from brain atrophy in Alzheimer’s disease // Cortex. 2012. V. 48. №. 8. P. 991–996.

391. Seligman M.E.P., Kahana M. Unpacking intuition: A con-jecture // Perspectives on psychological science. 2009. V. 4. №. 4. P. 399– 402.

392. Seligman M.E.P., Forgeard M., Kaufman S.B. Creativity and aging: What we can make with what we have left // In Seligman M.E.P., Railton P, Baumeister R.F. (Eds.). Homo Prospectus. New York, NY: Oxford University Press. 2016. P. 305-350.

393. Shafto M., Randall B., Stamatakis E.A., Wright P., Tyler L.K. Age-related neural reorganization during spoken word recognition: the interaction of form and meaning // Journal of cognitive neuroscience. 2012. V. 24. №. 6. P. 1434–1446.

394. Shah C., Erhard K., Ortheil H.J., Kaza E., Kessler C., Lotze M. Neural correlates of creative writing: an fMRI study // Human brain mapping. 2013. V. 34. №. 5. P. 1088-1101.

395. Smith S.M., Fox P.T., Miller K.L., Glahn D.C., Fox P.M., Mackay C.E., Filippini N., Watkins K.E., Toro R., Laird A.R., Beckmann C.F. Correspondence of the brain's functional architecture during activation and rest // Proceedings of the National

Academy of Sciences of the United States of America. 2009. V. 106. №. 31. P. 13040-13045.

396. Solbakk A.K., Fuhrmann A.G., Furst A.J., Hale L.A., Oga T., Chetty S., Pickard N., Knight R.T. Altered prefrontal function with aging: Insights into age-associated performance decline // Brain Research. 2008. V. 1232. P. 30–47.

397. Soper D.S. Post-hoc Statistical Power Calculator for a Student t-Test [Software] // 2017. Available from http://www.danielsoper.com/statcalc.

398. Sowden P.T., Pringle A., Gabora L. The shifting sands of creative thinking: Connections to dual-process theory // Thinking & reasoning. 2015. V. 21. № 1. P. 40-60.

399. Spitzer B., Gloel M., Schmidt T.T., Blankenburg F. Working memory coding of analog stimulus properties in the human prefrontal cortex // Cerebral Cortex. 2014. V. 24. № 8. P. 2229-2236.

400. Spreng R.N., Wojtowicz M., Grady C.L. Reliable differences in brain activity between young and old adults: a quantitative meta-analysis across multiple cognitive domains // Neuroscience and biobehavioral reviews. 2010. V. 34. №. 8. P. 1178–1194.

401. Spreng R.N., Sepulcre J., Turner G.R., Stevens W.D., Schacter D.L. Intrinsic architecture underlying the relations among the default, dorsal attention, and frontoparietal control networks of the human brain // Journal of cognitive neuroscience. 2013.V. 25. P. 74–86.

402. Stern Y. What is cognitive reserve? Theory and research application of the reserve concept // Journal of the International Neuropsychological Society. 2002. V. 8. №. 3. P. 448–460.

403. Stern Y. Cognitive reserve // Neuropsychologia. 2009. V. 47. №. 10. P. 2015– 2028.

404. Stringaris A.K., Medford N., Giora R., Giampietro V.C., Brammer M.J., David A.S. How metaphors influence semantic relatedness judgments: the role of the right frontal cortex // Neuroimage. 2006. V. 33. №. 2. P. 784-793.

405. Stowe J.D., Cooney T.M. Examining Rowe and Kahn’s Concept of Successful Aging: Importance of Taking a Life Course Perspective // The Gerontologist. 2015. V. 55. №. 1. P. 43–50.

406. Swick D., Ashley V., Turken A.U. Left inferior frontal gyrus is critical for response inhibition // BMC neuroscience. 2008. V. 9. Article 102.

407. Takeuchi H., Taki Y., Hashizume H., Sassa Y., Nagase T., Nouchi R., Kawashima R. Failing to deactivate: the association between brain activity during a working memory task and creativity // Neuroimage. 2011. V. 55. №. 2. P. 681-687.

408. Tallon-Boudry C., Bertrand O. Oscillatory gamma activity in human and its role on object representation // Trends in Cognitive Sciences. 1999. V. 3. №. 4 P. 151-162.

409. Tamplin A.K., Krawietz S.A., Radvansky G.A., Copeland D.E. Event memory and moving in a well-known environ-ment // Memory & cognition. 2013. V. 41. №. 8. P. 1109– 1121.

410. Tan C.-S., Lau X.-S., Kung Y.-T., Kailsan R. A. Openness to Experience Enhances Creativity: The Mediating Role of Intrinsic Motivation and the Creative Process Engagement // Journal of creative behavior. 2016. Advance online publication. doi:10.1002/jocb.170.

411. Taube W., Mouthon M., Leukel C., Hoogewoud H.M., Annoni J.M., Keller M. Brain activity during observation and motor imagery of different balance tasks: an fMRI study // Cortex. 2015. V. 64. P. 102-114.

412. Thijssen D.H., Maiorana A.J., O'Driscoll G., Cable N.T., Hopman M.T., Green D.J. Impact of inactivity and exercise on the vasculature in humans // European journal of applied physiology. 2010.V. 108. №. 5. P. 845–875.

413. Torrance E.P. Torrance tests of creative thinking norms-technical manual : verbal tests, forms A and B : figural tests, forms A and B // Princeton, New Jersey Personal Press, Inc. 1966. 95 p.

414. Torrance E.P. Torrance tests of creative thinking : figural test booklet B : directions manual and scoring guide // Bensenville, Il.: Scholastic Testing. 1974. 48 p.

415. Travis F., Shear J. Focused attention, open monitoring and automatic self-transcending: Categories to organize meditations from Vedic, Buddhist and Chinese Traditions // Consciousness and cognition. 2010. V. 19. №. 4. P. 1110-1118.

416. Tsang P.S., Shaner T.L. Age, attention, expertise, and time-sharing performance // Psychology and aging. 1998. V. 13. №. 2. P. 323-347.

417. Tuladhar A.M., ter Huurne N., Schoffelen J.M., Maris E., Oostenveld R., Jensen O. Parieto-occipital sources account for the increase in alpha activity with working memory load // Human brain mapping. 2007. V. 28. №. 8. P. 785-792.

418. Tyrovolas S., Polychronopoulos E., Morena M., Mariolis A., Piscopo S., Valacchi G., Bountziouka V., Anastasiou F., Zeimbekis A., Tyrovola D., Foscolou A., Gotsis E., Metallinos G., Soulis G., Tur J.-A. PhDi, Matalas A., Lionis C., Sidossis L.S., Panagiotakos D. Is car use related with successful aging of older adults? Results from the multinational Mediterranean islands study //Annals of Epidemiology. 2017. V. 27. №. 3. P. 225-229.

419. Ueno K., Takahashi T., Takahashi K., Mizukami K., Tanaka Y., Wada Y. Neurophysiological basis of creativity in healthy elderly people: A multiscale entropy approach // Clinical neurophysiology. 2015. V. 126. №. 3. P. 524-531.

420. Ungerleider L.G., Haxby J.V. 'What' and 'where' in the human brain // Current opinion in neurobiology. 1994. V. 4. №. 2. P. 157-165.

421. van Driel J., Sligte I.G., Linders J., Elport D., Cohen M.X. Frequency Band-Specific Electrical Brain Stimulation Modulates Cognitive Control Processes // PLoS One. 2015. V. 10. №. 9. Article e0138984.

422. van Elk M., van Schie H.T., Zwaan R.A., Bekkering H. The functional role of motor activation in language processing: motor cortical oscillations support lexical-semantic retrieval // Neuroimage. 2010. V. 50. №. 2. P. 665-677.

423. Verhaeghen P, Cerella J. Aging, executive control, and attention: a review of meta-analyses // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. 2002. V. 26. №. 7. P. 849-857.

424. Verhaeghen P. Aging and vocabulary scores: A meta-analysis // Psychology and Aging. 2003. V. 18. №. 2. P. 332–339.

425. Vlahou E.L., Thurm F., Kolassa I.T., Schlee W. Resting-state slow wave power, healthy aging and cognitive performance // Scientific reports. 2014. V. 4. Article 5101.

426. Vossel S., Geng J.J., Fink G.R. Dorsal and ventral attention systems: distinct neural circuits but collaborative roles // Neuroscientist. 2014. V. 20. №. 2. P.150-159.

427. Wallach M.A., Kogan N. Modes of thinking in young children: A study of the creativity-intelligence distinction // Oxford, England: Holt, Rinehart & Winston. 1965. 357 p.

428. Wang C., Ulbert I., Schomer D.L., Marinkovic K., Halgren E. Responses of Human Anterior Cingulate Cortex Microdomains to Error Detection, Conflict Monitoring, Stimulus-Response Mapping, Familiarity, and Orienting // Journal of neuroscience. 2005. V. 25. №. 3. P. 604-613.

429. Weissman D.H., Giesbrecht B., Song A.W., Mangun G.R., Woldorff M.G. Conflict monitoring in the human anterior cingulated during selective attention to global and local object features // NeuroImage. 2003. V. 19. №. 4. P. 1361–1168.

430. Whitney C., Kirk M., O'Sullivan J., Lambon Ralph M.A., Jefferies E. Executive semantic processing is underpinned by a large-scale neural network: revealing the contribution of left prefrontal, posterior temporal, and parietal cortex to controlled retrieval and selection using TMS // Journal of Cognitive Neuroscience. 2012. V. 24. №. 1. P. 133-147.

431. Williams P.G., Suchy Y., Kraybill M.L. Preliminary evi-dence for low openness to experience as a pre- clinical marker of incipient cognitive decline in older adults // Journal of Research in Personality. 2013. V. 47. №. 6. P. 945– 951.

432. Williams R.S., Biel A.L., Wegier P., Lapp L.K., Dyson B.J., Spaniol J. Age differences in the Attention Network Test: Evidence from behavior and event-related // Brain and Cognition. 2016. V. 102. P. 65–79.

433. Wilson R.S., Bennett D.A., Bienias J.L., Aggarwal N.T., de Leon C.F.M., Morris M.C., Schneider J.A, Evans D.A. Cognitive activity and incident AD in a population-based sample of older persons // Neurology. 2002А. V. 59. №. 12. P. 1910–1914.

434. Wilson R.S., Mendes De Leon C.F., Barnes L.L., Schneider J.A., Bienias J.L., Evans D.A., Bennett D.A. Participation in cognitively stimulating activities and risk of incident Alzheimer disease // JAMA. 2002Б. V. 287. №. 6. P. 742–748.

435. Wilson R.S., Boyle P.A., Yu L., Barnes L.L., Schneider J.A., Bennett D.A. Life-span cognitive activity, neuropathologic burden, and cognitive aging // Neurology. 2013. V. 81. №. 4. P. 314–321.

436. Wortman J., Lucas R.E., Donnellan M.B. Big Five personality domains: evidence from a longi-tudinal study of Australians // Psychology and Aging. 2012. V. 27. №. 4. P. 867– 874.

437. Wu X., Yang W., Tong D., Sun J., Chen Q., Wei D., Zhang Q., Zhang M., Qiu J. A meta-analysis of neuroimaging studies on divergent thinking using activation likelihood estimation // Human Brain Mapping. 2015. V. 36. №. 7. P. 2703-2718.

438. Wyland C.L., Kelley W.M., Macrae C.N., Gordon H.L., Heatherton T.F. Neural correlates of thought suppression // Neuropsychologia. 2003. V. 41. №. 14. P. 1863–1867.

439. Yaffe K., Fiocco A.J., Lindquist K., Vittinghoff E., Simonsick E.M., Newman A.B., Satterfield S., Rosano C., Rubin S.M., Ayonayon H.N., Harris T.B.; Health ABC Study. Predictors of maintaining cognitive function in older adults: the Health ABC study // Neurology. 2009. V. 72. №. 23. P. 2029-2035.

440. Yang J. The role of the right hemisphere in metaphor comprehension: a meta-analysis of functional magnetic resonance imaging studies // Human Brain Mapping. 2014.V. 35. №. 1. P. 107–122.

441. Zabelina D.L., Ganis G. Creativity and cognitive control: Behavioral and ERP evidence that divergent thinking, but not real-life creative achievement, relates to better cognitive control // Neuropsychologia. 2018. pii: S0028-3932(18)30071-X. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.02.014. [Epub ahead of print]

442. Zhao Y., Tu S., Lei M., Qiu J., Ybarra O., Zhang Q. The neural basis of breaking mental set: an event-related potential study // Experimental Brain Research. 2011. V. 208. № 2. P. 181-187.