

На правах рукописи

ШЕЛЕПИН

Константин Юрьевич

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ИНСАЙТА

03.03.01- Физиология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Санкт-Петербург

2019

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Одной из актуальных проблем физиологии сенсорных систем остается проблема сенсорно-когнитивного взаимодействия и перехода неосознаваемого отображения внешних сигналов в осознаваемый образ, на основе которого человек принимает решение об идентификации события и способе ответного реагирования (Барабанщиков, 2011, 2012; Глезер, 1993; Красильников, 2011). Наиболее ярко этот переход проявляется в феномене «инсайта». Термин «инсайт» («ага-эффект», «эврика», «озарение») традиционно обозначает состояние интуитивного понимания и внезапного нахождения способа преодоления возникшей проблемы (Ушаков, 2011). Это явление многогранно и проявляется при погружении человека в решение самых разных задач (Ключарев, Шмидс, Шестакова, 2011). Иногда инсайт отождествляют с «пониманием» вообще. Однако понимание может достигаться аналитически, а решение задачи происходить последовательно. Спецификой состояния инсайта, в отличие от последовательного достижения понимания и решения проблемы, является то, что оно достигается внезапно и сопровождается ярким эмоциональным всплеском (Glick, Lockhart, 1995).

В настоящее время большинство исследователей соотносят инсайт с переходом неосознаваемых нейрофизиологических процессов в осознаваемые психологические процессы, которые практически не поддаются психофизиологическим и психофизическим измерениям. Однако в последние годы появилась возможность привлечения к изучению нейрофизиологических механизмов инсайта новых методов исследования, в частности, методов нейровизуализации (Kounios, Beeman, 2014). Это направление исследований представляется актуальным и в теоретическом и в практическом плане, так как позволяет подойти к изучению нейрофизиологической основы высших психических функций и к объективной оценке их проявлений в контексте задач медицинской и психологической диагностики и реабилитации. Особый интерес в этой связи представляет моделирование инсайта в деятельности нейронных сетей при выполнении задач, предполагающих использование неаналитического способа решения. В реальной жизни с проблемой моделирования, например, зрительного инсайта, может быть связан широкий диапазон ситуаций - от демаскирования противника в условиях проведения военных операций и распознавания частично разрушенных объектов при ликвидации чрезвычайных происшествий до обнаружения патологических очагов среди здоровых органов и тканей в клинической практике.

Вопрос о том, представляет ли инсайт явление, присущее исключительно психике человека, или его можно реализовать в искусственных распознающих системах, был поставлен давно (Глушков, 1963; Поспелов, Пушкин, 1972). В

настоящее время, инсайт частично реализован в капсульных нейронных сетях (Sabour et al., 2017). Важность технического воспроизведения инсайта, сложного психофизиологического явления, очень высока, особенно в быстро меняющихся условиях жизни и внедрения новых технологий в разные области науки, образования, медицины и промышленности. Бурное развитие нейротехнологий при создании искусственных автономных систем, обеспечивающих целенаправленную деятельность и быстрое принятие решений (в частности, в хирургии с использованием робототехники и дистантных технологий), повышает актуальность фундаментальных и прикладных исследований нейрофизиологических механизмов инсайта как эффективного способа эвристического решения в условиях недостатка информации и дефицита времени. При этом на первый план выступают вопросы организации подобных исследований, а также моделирования и адекватной оценки состояния нейронных сетей человека в условиях инсайта, которые пока остаются не разработанными, но востребованными для развития систем искусственного интеллекта (Sabour et al., 2017).

Совокупность этих положений определила выбор основного направления настоящего исследования, а также необходимость создания оригинального способа его экспериментальной реализации с обеспечением условий количественного измерения порога возникновения, оценки наличия и выраженности эффекта инсайта, который был разработан при его подготовке.

Степень разработанности темы исследования. Представления об инсайте как явлении и особом состоянии мышления известны с глубокой древности («Ага-эффект» Архимеда). В конце XIX - начале XX века И.П. Павлов обратил внимание на работы американского ученого Эдварда Ли Торндайка, который занимался изучением поведения животных при поиске выхода из «проблемного ящика» - экспериментального устройства, в которое помещали подопытных животных (Павлов, 1935; Thorndike, 1898). Результаты исследований отображались на определённых графиках, названных Торндайком «кривыми научения». Благодаря этим экспериментам был сделан вывод, что животные действуют методом «проб и ошибок и случайного успеха». В начале 20-х годов XX-го века в психологии возникло получившее активное развитие направление - гештальт-психология. Термин инсайт (озарение) был введен в научный обиход его представителями, которые инициировали систематическое изучение этого феномена (Kohler, 1921; Koffka, 1935; Kohler, 1947). Была предложена физическая модель инсайта, во многом наивная, но плодотворная для развития психологических исследований. Однако гештальт-психологи не дали объяснения реального механизма возникновения инсайта, а лишь говорили о «сложном мыслительном» процессе (Kohler, 1929). В то же время в физиологии И.П. Павлов и его ученики предсказали, что инсайт может быть естественным результатом возбуждательных и тормозных взаимодействий в головном мозге, который, вероятно, обеспечивается механизмом

временной связи между нейронами в коре головного мозга (Бабкин, 1904, Павлов, 1923). К концу XX века было показано, что взаимодействия в нейронной сети, обеспечивающие распознавание, действительно обусловлены возбуждательными и тормозными длинными межкорковыми и короткими межмодульными «горизонтальными» связями (Kovach, Julesz, 1993; Hess, Field, 1999; Olshausen, Field, 2004; Ghosh, Petkov, 2005). Но остался недостаточно отработанным вопрос технологий моделирования инсайта, пригодных для объективных измерений и плодотворного изучения его нейрофизиологических механизмов. Подходы к решению проблемы наметились только в последние десятилетия в связи с развитием информационных и инженерных технологий. Благодаря применению методов цифрового синтеза изображения, для изучения инсайта была создана новая система тестов, представляющая собой матрицу элементов Габора (Chikhman et al., 2011). Элементы Габора находились в матрице на удалении друг от друга и, при определенных условиях коллинеарности, некоторые из них образовывали фигуру, остальные - создавали помеху. Наблюдатель не сразу реконструировал в неподвижном изображении фигуру, а как бы внезапно осознавал ее, что позволило рассматривать такое стационарное изображение как модель эффекта инсайта (Field et al., 1993; Hess, Field, 1999). Подход был основан на знаниях организации нейронных сетей первичной зрительной коры и имитировал работу цитоархитектонической зоны 17 (Brodmann area BA17). Это обеспечило авторам яркую демонстрацию явления, но не подход к комплексным исследованиям феномена инсайта различной модальности в норме и патологии.

Целью настоящей работы является разработка технологии моделирования инсайта и ее эмпирическая верификация в ходе экспериментального исследования нейрофизиологических механизмов зрительного инсайта с использованием объективных методов измерения.

Задачи исследования:

1. Разработать и апробировать метод исследования возникновения инсайта в процессе распознавания формы неполных, фрагментированных изображений с измерением порогов распознавания в условиях неопределенности.
2. Изучить взаимосвязи порогов возникновения инсайта (расознавания) с эмоциональными составляющими моторного отклика, отражающего принятие решения.
3. Разработать и апробировать методику нейрофизиологического исследования состояния нейронной сети в момент возникновения инсайта.
4. Изучить взаимосвязи нейронных сетей на различных стадиях возникновения инсайта и процесса принятия решения.

Научная новизна работы. В нашем исследовании, опираясь на работы Филда и Гесса (Field et al., 1993; Hess, Field, 1999), был выбран и модифицирован метод оценки распознавания паттернов, образованных из разрозненных элементов

изображений. При этом момент возникновения инсайта отождествлялся с достижением порога распознавания формы в условиях неопределенности зрительной информации. Это соответствие подтверждалось основными атрибутами инсайта: эффектом неопределённости, этапом предварительного (неосознанного) накопления информации, эмоциональной реакцией на решение (распознавание). Важно также подчеркнуть отсутствие подобных составляющих в случае измерения других психофизических порогов, например, порогов контрастной чувствительности или разрешающей способности зрительной или слуховой системы человека.

В целом, при подготовке и проведении исследования базовой выступала гипотеза, согласно которой мозг человека обладает двумя основными стратегиями принятия решений. Одна из них опирается на осознанный логический анализ задачи и ее последовательное, поэтапное решение. Вторая - направлена на быстрое, эвристическое решение (в форме озарения), при котором наблюдается накопление необходимой (минимальной, пороговой) совокупностью данных и их неосознаваемая обработка в преинсайтный или «инкубационный» период, но без осознаваемого аналитического и поэтапного сопоставления. Современное развитие аппаратно-программных средств изучения деятельности мозга позволило нам разработать технологию исследования перестройки крупномасштабных нейронных сетей в момент инсайта и тем самым осуществить переход от психологического (субъективного) к нейрофизиологическому (объективному) описанию феномена инсайта как порога распознавания изображения в условиях ограничения зрительной информации. Результаты исследования дают принципиально новое понимание работы мозга и основу для развития нейротехнологий, имитирующих инсайтный тип принятия решения, который может быть успешным, а иногда и единственно возможным способом преодоления экстремальных ситуаций.

В работе создана и прошла эмпирическую верификацию технология нейрофизиологических исследований инсайта с помощью инерционного метода фМРТ. Использован прием медленного формирования во времени стимулов в условиях неопределенности (Голлин-тест) до порога, при пороге, при снятии неопределенности в момент принятия решения и в послепороговом состоянии при снятой неопределенности и проверки принятого решения. Время тестирования согласовано со временем развития BOLD-сигнала. При этом моделируются основные свойства инсайта, а именно: инкубационный период неосознаваемого накопления информации, необходимого для решения задачи; собственно решение задачи при достижении порога распознавания и осознаваемого принятия решения. Установлено также наличие выраженной эмоциональной составляющей в момент достижения инсайта. Разработанная методика основана на последовательном предъявлении неполных изображений, вызывающих отклик мозга, величина

которого максимальна в момент порога распознавания, отождествляемого с инсайтом.

Установлено, что возникновение инсайта обеспечивается деятельностью крупномасштабной нейронной сети, захватывающей определенные области затылочной, височной и лобной областей. Основные элементы этой сети включают затылочно-височные области ВА19 и ВА37, входящие в расширенную «речевую» зону Вернике, а лобные ВА45 и ВА46 - в расширенную «речевую» зону Брока. Между указанными областями и классическими областями зон Брока и Вернике в процессе возникновения инсайта наблюдаются оппонентные взаимоотношения, что было впервые показано на материале объективных измерений и может быть связано с влиянием зрительно-лексических ассоциаций, сопровождающих распознавание изображения. Проведенные нейрофизиологические исследования с помощью предложенной методики моделирования инсайта, объективно подтвердили гипотезу о наличии межполушарной асимметрии крупномасштабных нейронных сетей, обеспечивающих проявление зрительного инсайта.

Теоретическая и практическая значимость работы. В теоретическом и прикладном аспекте, данная тема, согласно перечню Указа Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 года №899, относится к приоритетному направлению развития науки (нано-, био-, информационные, когнитивные технологии), определяющему развитие критических технологий в Российской Федерации.

Полученные данные расширяют существующие представления о закономерностях сенсорно-когнитивного взаимодействия и порогах распознавания сигнала (неполных контурных изображений) в условиях неопределенности, отождествляемых с инсайтом. Обнаруженная активация нейронных сетей головного мозга при достижении порога зрительного распознавания формы объектов отражает возможность экспериментального изучения инсайта, понимания нейрофизиологических механизмов его возникновения и эвристического способа принятия решения, что позволяет приблизиться к реализации в нейронных сетях глубокого обучения систем искусственного интеллекта механизмов принятия решений на уровне человека.

Особый интерес представляет согласование растянутого во времени тестового сигнала с «быстродействием» метода фМРТ и наличием определенных откликов всех зон мозга - зрительных, слуховых, соматосенсорных, двигательных, ассоциативных, обеспечивающих принятие решения и планирование действий. Предложенная технология тестирования мозга является универсальной для изучения когнитивных функций мозга, что делает ее полезной и незаменимой для клинического применения.

Результаты ее апробации и полученные в работе новые данные могут быть использованы: при проведении фундаментальных и прикладных научных исследований (моделирование и стимуляция инсайта); разработке

специализированного тренинга по принятию решений в экстремальных условиях; ассистивных технологий для преодоления сенсорно-когнитивных дисфункций (медицинская реабилитация); новых алгоритмов и конструкций нейронных сетей (задачи искусственного интеллекта); для тестирования и выявления креативных индивидуумов, способных успешно решать задачи нестандартным образом (психологическая диагностика, профориентация); в курсах лекций по нейро- и психофизиологии сенсорных и когнитивных процессов.

Разработанная технология моделирования инсайта успешно прошла проверку в отношении диагностики и лечения когнитивных нарушений у ряда пациентов в условиях медицинских учреждений Российской Федерации. Материалы исследования внедрены в учебно-образовательную практику по основной программе бакалавриата («Психология») и программе специалитета («Клиническая психология») в рамках разработанного авторского учебного курса «Айтрекинг в нейрокогнитивных и психологических исследованиях» для студентов, обучающихся на факультете психологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет». Созданное для выполнения задач исследования авторское программное обеспечение (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «eyeCommunicator» №2017618774 от 08.08.2017) использовано в инновационной ассистивной системе для альтернативной коммуникации, поддержанной профильной ассоциацией пользователей.

Методология и методы исследования. Работа носит экспериментальный характер. Нейрофизиологические механизмы возникновения инсайта при решении задач зрительного распознавания контурных объектов изучали с использованием методов психофизического тестирования и объективных измерений. На этапе разработки и апробации модели инсайта адаптировали методику определения порога распознавания неполных фрагментированных изображений. Для этого применили компьютеризированную модификацию Голлин-теста (Foreman, Hemmings, 1987; Шелепин и др., 2015) в версии, разработанной в лаборатории физиологии зрения ИФ РАН и испытанной как в лабораторных, так и в клинических условиях (Chernova et al., 1999; Шелепин и др., 2015).

Для выявления яркой эмоциональной реакции, как одной из характеристик инсайтного решения, использовали методику самооценки психоэмоционального состояния испытуемых. В целях осуществления объективного контроля внимания при проведении измерений применяли метод видеоокулографии. Для анализа распределения активности в головном мозге человека и состояния нейронных сетей при восприятии постепенного наращивания контура изображения и в процессе развития инсайта использовали метод функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ).

Для обработки данных применялись стандартные пакеты прикладного статистического анализа MatLab и SPM12 (<https://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>). Значимость различий оценивали с помощью t-критерия Стьюдента.

Протокол и материалы исследования, включая формы информированных согласий для испытуемых, рассмотрены и одобрены Этическим комитетом Санкт-Петербургского государственного университета, имеющим международную аккредитацию по этической экспертизе поведенческих и социальных исследований с участием людей (решение от 12.06.2017 № 02-124).

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработанная и эмпирически проверенная пороговая модель эвристического (неаналитического) решения, в рамках которой достижение порога распознавания неполных изображений сопровождается неосознаваемыми процессами и эмоциональной реакцией, является приемлемой и эффективной технологией моделирования и изучения инсайта.
2. Существуют значимые различия общей активации головного мозга в период достижения инсайта (порога распознавания) по сравнению с подпороговой и надпороговой стимуляцией и состоянием покоя. В частности, в момент возникновения инсайта при пороге распознавания фрагментированного изображения, в одних зонах мозга BOLD-сигнал достигает своего максимума, а в других, оппонентных им, – своего минимума.
3. Разработанная и апробированная методика исследования состояния нейронной сети в момент возникновения инсайта с использованием магнитно-резонансной томографии является адекватной цели изучения нейрофизиологических механизмов инсайтного (эвристического) решения когнитивных задач.
4. Процесс развития инсайта сопровождается особой организацией крупномасштабной нейронной сети, которая и обеспечивает его возникновение при значимой выраженности межполушарной асимметрии - доминировании активации правого полушария над левым.

Апробация результатов исследования. Материалы диссертации представлены в устных докладах на российских и международных конференциях: 5-th German-Russian Congress «Mental Health in German and Russia: Prevention of Psychological Disorders», Гамбург, Германия, 2018г.; The 1st «Beritashvili Talks», Neurophysiological Functions and their Disorders – Interdisciplinary Studies, Тбилиси, Грузия, 2018 г.; «Обработка сигналов изображения и звука в контексте нейротехнологий», СПб, Россия, 2018 г.; «Невский радиологический форум – 2018», СПб, Россия, 2018 г.; «Поленовские чтения», СПб, Россия, 2018 г.; «Одаренность и успешность», Сочи, Россия, 2018 г.; XXIII съезд Физиологического общества им. И.П. Павлова, Воронеж, Россия, 2017 г.; Fechner Day 2016. Москва, Россия, 2016 г.; «Обработка сигналов изображения и звука в контексте

нейротехнологий», СПб, Россия, 2016 г.; Седьмая международная конференция по когнитивной науке, Светлогорск, Россия, 2016 г.; Международная научная конференция «Ананьевские чтения – 2015», СПб, Россия, 2015 г.

Публикации. По теме диссертации опубликованы: 4 статьи в российских рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК (из них 2 работы в издании, входящем в международные базы Web of Science и Scopus), 1 глава в коллективной монографии, а также 10 работ в сборниках и материалах научных конференций.

Личный вклад автора. Личное участие автора состояло в планировании исследования, формулировке его целей и задач, определении и разработке методов исследования, анализе литературы по теме диссертационной работы. Все эксперименты выполнены лично автором или при его непосредственном участии. Диссертантом самостоятельно проведен анализ и обобщение полученных в работе данных. Все публикации подготовлены с его участием в качестве основного автора.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, выводов, списка литературы и приложений. Основной текст диссертации изложен на 181 странице, содержит 4 таблицы и 33 рисунка. Список литературы содержит 189 источников, в том числе 36 отечественных и 153 иностранных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации: «Теоретические и экспериментальные основы изучения инсайта» представлен обзор литературы по теме исследования, проводится анализ теоретических и эмпирических подходов к изучению физиологических механизмов инсайта. Критически, с современных позиций, освещена история естественнонаучного исследования феномена инсайта (Kounios, Beeman, 2014). Подробно рассмотрены и сопоставлены основные подходы к его экспериментальному изучению, дан анализ когнитивных моделей решения задач путем инсайта. Приведены данные современных исследований, посвященных нейрофизиологическим коррелятам инсайтных решений, обсуждается роль префронтальной коры (Kerns et al., 2004; Weissman et al., 2005; Miller, Cohen, 2001; Kounios et al., 2006), влияние когнитивных и аффективных процессов на вероятность возникновения инсайта.

Во второй главе диссертации: «Методы и дизайн исследования» представлены данные описывающие дизайн, объем и этапы исследования, даны характеристики групп испытуемых и экспериментальной выборки, приведено описание психологических, психофизиологических и нейрофизиологических (фМРТ) методов исследования, рассмотрены серии и процедуры экспериментальных измерений.

Испытуемые. В диссертационном исследовании приняли участие 74 взрослых испытуемых обоего пола. Из них на первом этапе апробации метода исследования и изучения инсайта с использованием психофизиологических и

психологических маркеров приняли участие 45 испытуемых с остротой зрения не менее 1, без неврологических патологий. На втором этапе апробации метода исследования и изучения состояния нейронной сети в момент возникновения инсайта с использованием методов нейровизуализации, участвовали 29 испытуемых с остротой зрения не менее 1, без неврологических патологий, средний возраст – 24,5 лет.

Психологический метод исследования - методику самооценки эмоционального состояния - применяли в качестве инструмента регистрации возникновения яркого эмоционального компонента как специфического маркера инсайта.

Психофизиологические методы использовали для проведения: А) психофизических измерений порогов распознавания неполных фрагментированных фигур с использованием модифицированного Голлин-теста. На их основе был определен оптимальный алгоритм прохождения теста для моделирования инсайта. Исследование проводили в помещении длиной 5 м. Освещение помещения обеспечивалось (10 св/м²) люминесцентной лампой, расположенной вне поля зрения на высоте 3,5 м. Испытуемый располагался в положении сидя, за столом. Экран монитора отстоял от него на расстоянии 70-80 см от лица. Подача сигнала ответа осуществлялась нажатием правой клавиши мышки. Инструкция была направлена на мотивацию скорейшего распознавания контурного объекта, сопровождавшегося фиксацией сигнала ответа (моторной реакцией) и регистрацией наличия/отсутствия эмоциональной реакции в момент распознавания (протокол самооценки испытуемого). После подачи сигнала ответа, постепенное нарастание числа элементов контура в зрительном стимуле прекращалось, и объект демонстрировался испытуемому полностью; Б) измерений на основе видеоокулографии (айтрекинг исследование) с целью объективного контроля внимания по направлению взгляда испытуемых в процессе распознавания фигур Голлин-теста.

Метод фМРТ (нейровизуализации) использовали для объективного отображения состояния мозга и исследования нейронных сетей. Этот этап работы состоял из пространственного картирования активированных областей головного мозга методом BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent) функциональной магнитно-резонансной томографии, а также оценки локальной активности относительно целого мозга. Контроль состояния мозга методом фМРТ осуществляли в период до возникновения порога распознавания, в момент его достижения и после достижения порога распознавания фрагментированных контурных фигур.

При выполнении Голлин-теста исследовали карты распределения мозговой активности по BOLD-сигналу в момент предъявления стимула (динамического изображения) относительно распределённой активности нейронной сети базового

режима мозга (относительного покоя - REST). Испытуемые, находясь в лежачем положении, наблюдали изображения на экране посредством системы зеркал, закрепленных на катушке над их головой. Зрительные стимулы предъявляли с помощью мультимедийного проектора BENQ PB 8250 XGA, размещенного вне камеры (частота кадровой развертки 85 Гц). Для получения изображений карт активации использовали методику эхопланарной томографии (echoplanar imaging - EPI), которая позволяла получить изображение всего головного мозга (36 срезов) с матрицей 64x64 пикселя в течение 3 секунд. Использовали высокопольный магнитно-резонансный томограф «Siemens-Symphony» (1,5 Тл), с градиентами 40 мТл/м. Исследование проводили с использованием приемно-передающей матричной радиочастотной головной катушки.

При анализе полученных данных сравнивали изображения, отражающие активность разных зон мозга не только относительно «покоя», но и как разницу активности в момент достижения порога распознавания относительно допорогового состояния, а также в момент достижения порога распознавания, относительно послепорогового состояния мозга. Оценку локальной активности относительно целого мозга проводили методом двухкомпонентного t-теста (t-критерий Стьюдента, $p < 0.001$).

В третьей главе диссертации: «Экспериментальное исследование технологии моделирования и нейрофизиологических механизмов инсайта» подробно представлены результаты проведенной работы.

На первом этапе апробации метода исследования инсайта с использованием психофизиологических и психологических маркеров в процессе распознавания формы изображения при постепенном заполнении контура в Голлин-тесте была определена величина заполнения контура, при которой в случайном наборе точек наблюдателем внезапно осознавался целостный объект. Эта величина заполнения контура считалась пороговой для распознавания и выражалась в процентах длины предъявляемого контура объекта. Установлено, что для большинства тестовых стимулов порог распознавания наблюдался при 20% ($\pm 5\%$) заполнения контура. При его достижении из разрозненных частей изображения у испытуемого возникал целостный образ и задача распознавания решалась внезапно (скачкообразно), в форме догадки или озарения. Результаты фиксации самооценки эмоционального состояния в Голлин-тесте свидетельствовали, что подавляющее большинство испытуемых (92%) отметили выраженный положительный эмоциональный всплеск при достижении порога распознавания изображения целостного объекта, т.е. была обнаружена статистически значимая связь между порогом распознавания формы изображения и положительной эмоциональной составляющей ответного моторного отклика, отражающего принятие решения испытуемым ($p < 0,01$). Важно, что проявление такой связи выступает одним из основных критериев развития инсайта.

На втором этапе исследования, направленном на оценку состояния нейронной сети в процессе возникновения инсайта методом фМРТ, было проведено две серии исследования.

В 1-ой серии определяли оптимальную скорость предъявления тестовых изображений, необходимую для получения наилучшего развертывания BOLD сигнала. По результатам этой серии была выбрана скорость предъявления тестовых изображений в Голлин-тесте, при которой за 45 с набиралось 45% контура тестового изображения. Эта скорость предъявления стимулов позволила согласовать временные характеристики стимуляции с низким временным разрешением метода фМРТ и давала возможность подробно исследовать весь ответ BOLD-сигнала, сопоставляя его с психофизиологическими реакциями испытуемого. Это определило её использование во второй серии экспериментов.

Во 2-й серии проводили анализ карт активности мозга при предъявлении изображений в двух фазах: фаза 1 - с инструкцией испытуемым фиксировать взгляд на точке, фаза 2 - с инструкцией распознавания образа неполных контурных изображений Голлин-теста. Результаты состояния различных участков коры головного мозга, полученные методом фМРТ, представлены на рисунке 1. Произведено усреднение активации по всем стимулам. Полученные данные разделены на три периода в развитии решения задачи: А – допороговый, до возникновения порога распознавания (от 0 до 10% наращивания элементов контура изображения); Б - пороговый, момент возникновения порога распознавания формы объекта (от 10 до 25% контура); В – послепороговый, после достижения порога распознавания (от 25 до 60% контура). Каждый из исследуемых периодов в фазе 2 сравнивали с фазой 1. На рисунках 1 А-В представлена разница активности мозга при достижении порога относительно допорогового и послепорогового состояния.

Согласно этим данным, получены статистически значимые различия максимальной активности мозга в момент достижения порога, т.е. в момент внезапного осознания наблюдателем в случайном паттерне точек целостного объекта, составляющего суть инсайтного решения задачи. Кроме того, на рисунках 1А и 1В в условиях до-, и после- достижения порога распознавания практически на всех срезах видна активность мозга слева в лобной доле. В то же время на рисунке 1Б, в момент достижения порога распознавания, отчетливо видно увеличение числа вокселей в правом полушарии. Повышается активность мозга в правой лобной доле на срезах 20-30 и в затылочной доле на срезах от 16 до 0 и срезах от 16 до 24.

Таким образом, данные, полученные методом фМРТ, свидетельствовали, что момент достижения порога распознавания (20% длины контура) сопровождается активацией правого полушария. Этот важный результат хорошо согласуется с предположениями о роли правого полушария в развитии инсайта, и может служить дополнительным подтверждением правильности выбранной нами модели инсайта.

При достижении порога распознавания показана активация лобной и затылочной областей в правом полушарии, отмечен максимум общего числа активированных вокселей фМРТ-срезов.

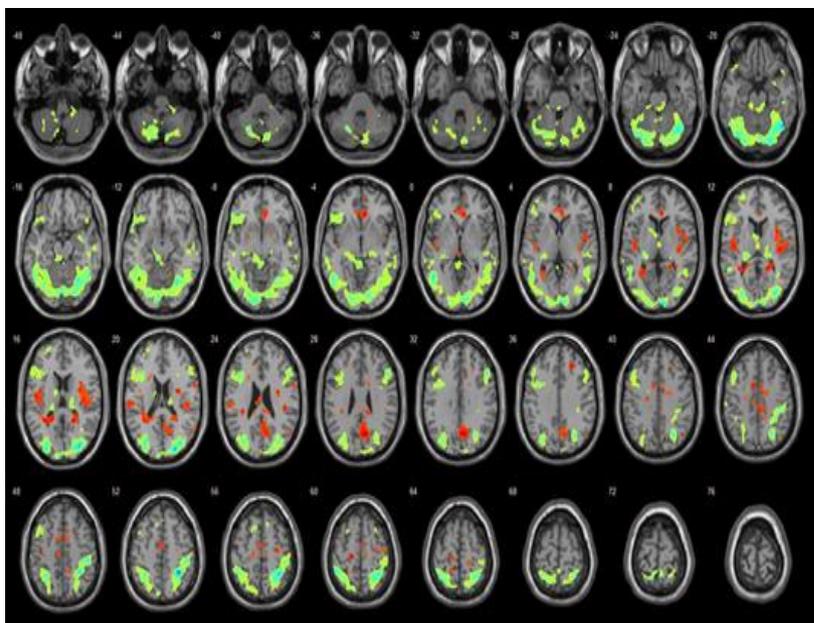


Рисунок 1А. Предъявление 10% контура объекта. Усреднённый уровень активации для 22 испытуемых (FDR-corrected, уровень ложноположительных результатов, $p = 0,01$) в задачах распознавания неполного изображения.

Зоны мозга, окрашенные: в красный цвет - результат статистической оценки активности мозга в состоянии «покоя» относительно состояния «до инсайта» при предъявлении 10% контура; в зелёный цвет - состояние мозга «до инсайта» при 10% контура относительно состояния «покоя».

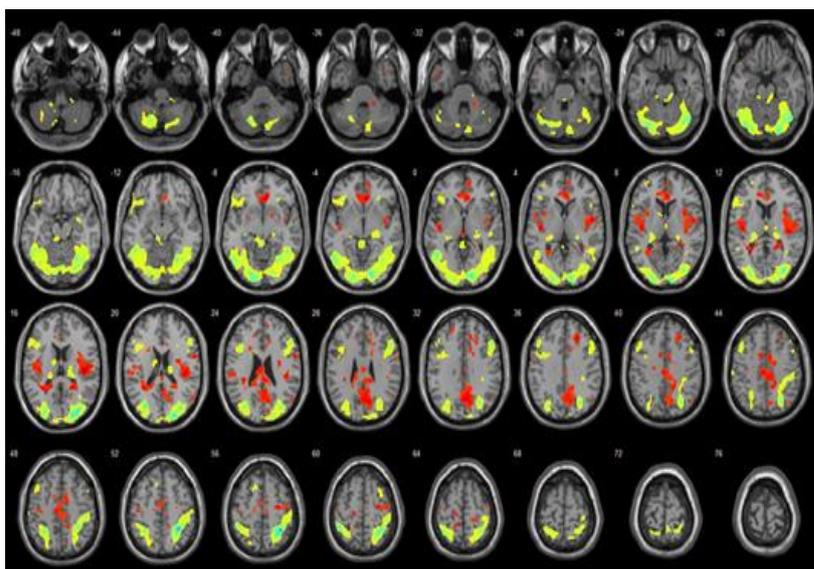


Рисунок 1Б. Предъявление 20% контура объекта. Усреднённый уровень активации для 22 испытуемых (FDR-corrected, $p = 0,01$) в задачах распознавания неполного изображения.

Зоны мозга, окрашенные: в красный цвет - результат статистической оценки активности мозга в состоянии «покоя» относительно состояния «инсайта» при предъявлении 20% контура; в зелёный цвет - состояние мозга «инсайта» при 20% контура относительно состояния «покоя».

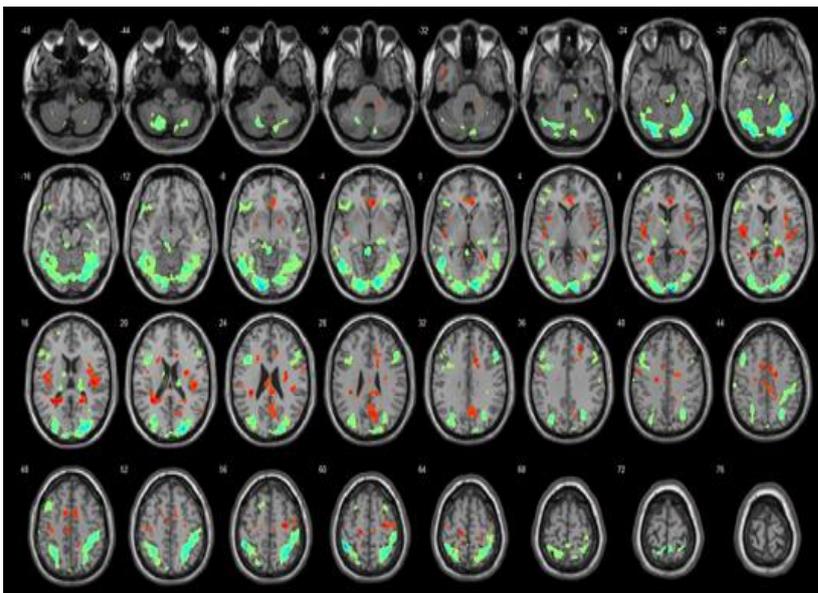


Рисунок 1В. Представлено 60% контура объекта. Усреднённый уровень активации для 22 испытуемых (FDR-corrected, $p = 0,01$) в задачах распознавания неполного изображения объекта.

Зоны мозга, окрашенные: в красный цвет - результат статистической оценки активности мозга в состоянии «покоя» относительно состояния «после инсайта» при предъявлении 60% контура; в зелёный цвет - состояние мозга «после инсайта» при 60% контура относительно состояния «покоя».

На диаграммах рисунка 2 представлены наблюдаемые на картах различия активности мозга в разные моменты развития инсайта: при достижении порога, в допороговом и послепороговом состоянии. В центре рисунка виден статистически значимый пик, соответствующий моменту порогового значения распознавания формы неполного фрагментированного изображения. Видно также, что последующее наращивание проявляемых на экране фрагментов контура уже не увеличивает различие с «покоем», а напротив, уменьшает его.

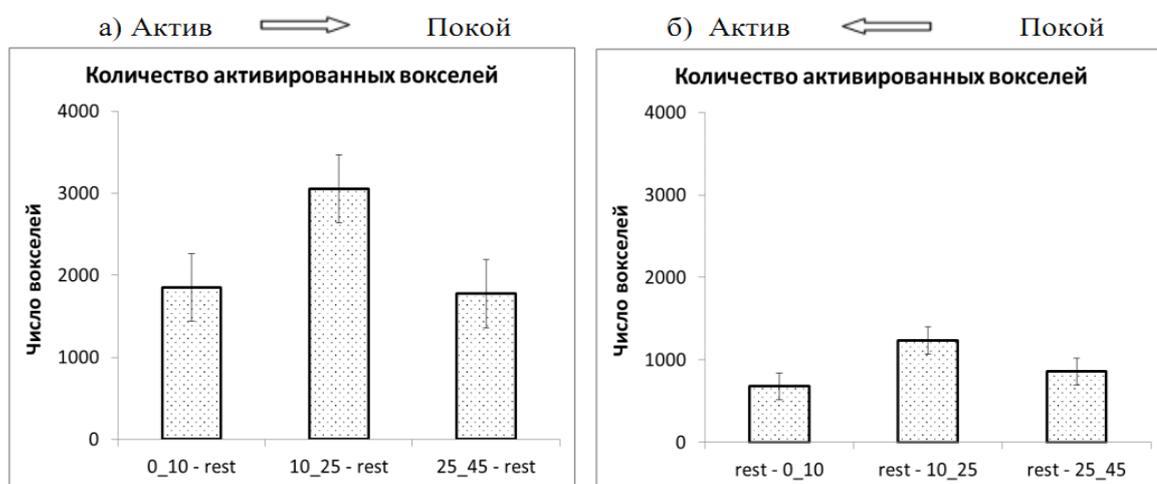


Рисунок 2. Среднее значение разницы числа активированных вокселей всего головного мозга при 2-х типах статистического сравнения с указанием стандартной ошибки среднего значения (SE) в зависимости от предъявления изображения до возникновения инсайта, во время инсайта и после инсайта. (а) «активация» относительно «покоя» и (б) «покой» относительно «активации».

Согласно этим данным, максимум различия достигается как при сравнении результатов «покой» по отношению к «активации» («минус активация»), так и при сравнении данных «активация» по отношению к покою («минус покой»). Это связано с тем, что наблюдаются локальные особенности уровня активации,

которые значительно ниже в одних и выше в других цитоархитектонических зонах, входящих в разные нейронные сети. Поэтому результаты анализа теряют главный компонент – отражение динамики изменения входного сигнала и ответа головного мозга человека на этот сигнал.

Наглядно и статистически значимо развернутый во времени ответ областей мозга до-, во время- и после- инсайта был получен при наблюдении изменений во времени BOLD-сигнала различных областей мозга во второй серии исследований.

Анализ активности мозга проводили на основе изменения во времени BOLD-сигнала в ответ на развернутую во времени стимуляцию, согласованную с инерционностью изменения кровотока. Исследовали активность цитоархитектонических полей (зон) мозга по Бродманну (Brodmann, 1909): префронтальной коры (BA9, BA10, BA11), височной и теменной коры (BA7, BA39, BA40, BA22), лимбической коры (BA23, BA24, BA29, BA30, BA31), задневисочной (BA37), затылочной коры (BA17, BA18, BA19), инсулы (BA13, BA14, BA16, BA44, BA55) и подкорковых ядер, таких как амигдалы. Состояние этих структур изучали, руководствуясь современными представлениями об активности крупномасштабных нейронных сетей, связывающих эти структуры.

В динамике BOLD-сигнала некоторых полей височной, нижнетеменной, затылочной, заднетеменной и лобной долей коры отчетливо прослеживались два отклика: первый - в допороговый период предъявления контура изображения, второй - в момент, соответствующий порогу распознавания (в момент инсайта) (рисунок 3). Данные свидетельствуют, что максимум ответа наблюдается в зоне BA37 и совпадает с моментом распознавания – предъявление 20% контура изображения.

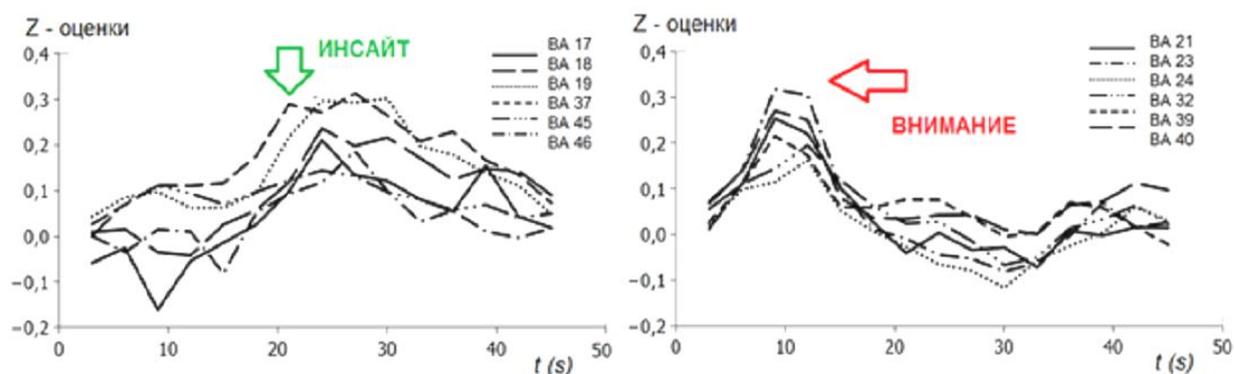


Рисунок 3. Изменение во времени BOLD-сигнала некоторых полей мозга по Бродманну, выбранных как области интереса. Слева - затылочные, задневисочные и лобные поля, а справа - нижнетеменные и височные поля. По оси абсцисс: время и процент заполнения контура тестового изображения, численно равный моменту предъявления. По оси ординат: изменение кровотока в относительных единицах Z - оценки.

Кроме того, выявлена разнонаправленность откликов нейронов мозга в полях BA37 и BA7, что характеризуется как оппонентность ответа (рисунок 4). Видно, что в правом полушарии (б) оппонентные отклики зон BA37 и BA7 значимо

более выражены, чем в левом. Пик расхождения совпадает с порогом распознавания и положительной эмоциональной реакцией испытуемого (момент возникновения инсайта).

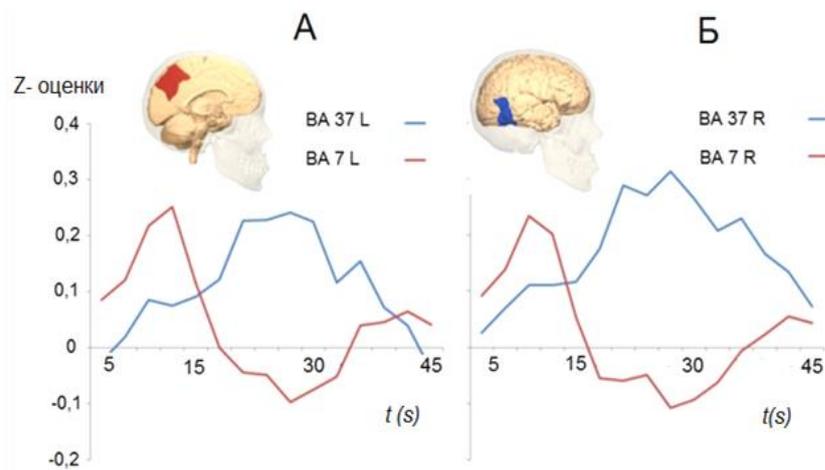


Рисунок 4. Отклики долей затылочно-височной коры (поле ВА37): - участие в процессе инсайта и медиальной области теменной коры (поле ВА7) – участие в процессе внимания. А - левое полушарие, Б – правое полушарие. По оси абсцисс: время и соответствующей ему % предъявления контура тестового изображения. По оси ординат: значение BOLD-сигнала в относительных единицах Z - оценки.

Из рисунка 4 следует также, что к увеличению активности в зоне ВА37 приводит нарастание числа фрагментов контура изображения. Активность достигает максимума в момент инсайта при предъявлении 20% контура (порог распознавания объекта). При этом обнаруживается статистически значимое различие активации правого полушария по сравнению с левым.

На рисунке 5 показаны отклики областей мозга на появление стимуляции. Число фрагментов, заполняющих контур еще слишком мало, чтобы наблюдатель мог распознать форму объекта и мысленно воссоздать из разрозненных фрагментов целостный образ. В это время развивается максимальный ответ в теменной коре в зоне ВА7. Этот отклик был отождествлен с активацией механизма внимания.

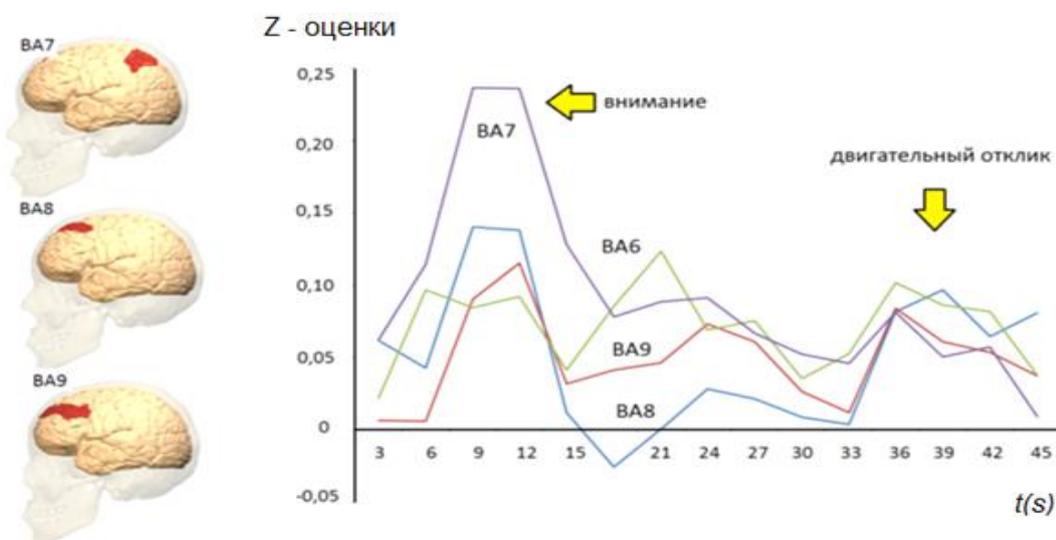


Рисунок 5. Отклики теменных (ВА7) и лобных (ВА8, ВА9) долей мозга, связанных с ориентировочной реакцией на появление стимула (вниманием), отсутствием изменений в момент распознавания, и с двигательным откликом. По оси абсцисс - время и соответствующей ему процент предъявления контура тестового изображения. По оси ординат - значение BOLD-сигнала в относительных единицах Z оценки.

Попутно отметим, что в этот момент активируется и слуховая кора ВА22. Затем этот процесс сменяется торможением (см. далее рисунок 7). У испытуемого еще сохраняется полная неопределенность восприятия, хотя он начинает собирать образ объекта из малого числа наблюдаемых им фрагментов изображения.

В момент инсайта наблюдается активация зон лобных долей, а именно, ВА44, ВА45, ВА46 (рисунок 6). Слева эти области соответствуют речевой зоне - обширной зоне Брока. Выявлено изменение BOLD-сигнала во времени в правом и левом полушариях головного мозга, показаны статистически значимые различия между откликами ВА45, ВА46 в правом и левом полушариях. Так, в правом полушарии в зонах ВА45 и ВА46 наблюдаются отчетливые реакции, связанные с порогом распознавания объекта во фрагментированном контурном стимуле. В левом полушарии (ВА44) в дорзальной части зоны Брока, реакции нет ни на включение зрительной стимуляции, ни в момент распознавания объекта.

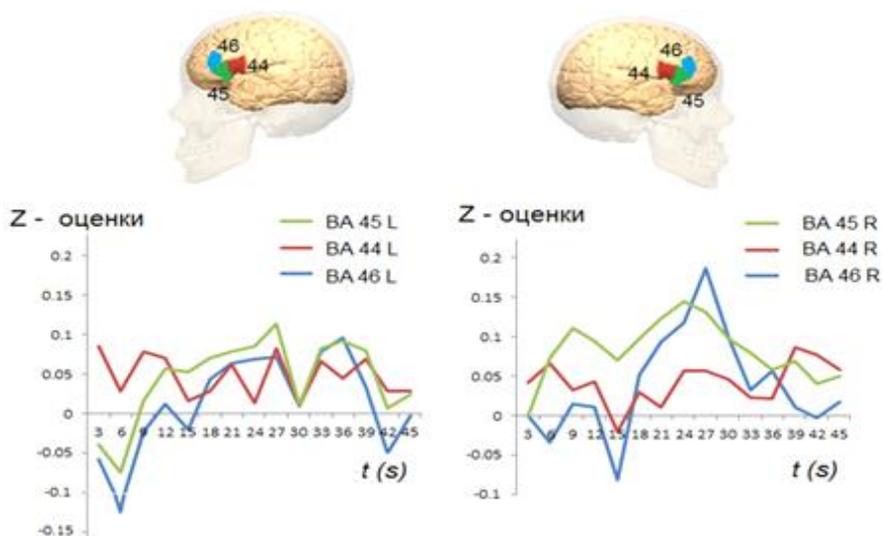


Рисунок 6. Отклики левой и правой нижних лобных долей коры мозга (поля ВА44, ВА45, ВА46).

По оси абсцисс - время и соответствующей ему процент предъявления контура. По оси ординат - значение BOLD-сигнала в относительных единицах Z оценки.

На рисунке 7 показана активация в височных областях, и в частности в слуховой зоне ВА22, и в нижневисочных долях ВА21 и ВА20, связанных с обработкой сложной зрительной информации.

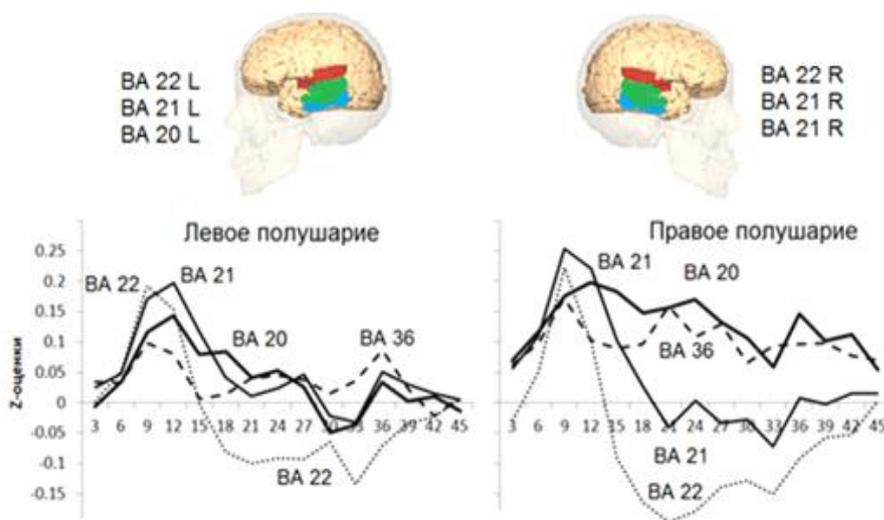


Рисунок 7. Примеры откликов височных зон в левом полушарии, активированных появлением стимула (первый отклик), и зон в правом полушарии, активированных и появлением и распознаванием стимула (первый и слабый второй отклик). По оси абсцисс - время и соответствующей ему процент предъявления контура. По оси ординат - значение BOLD-сигнала в относительных единицах.

Данные свидетельствуют об активации зон, отражающих общее внимание при предъявлении стимула. Видны также межполушарные различия в активации нейронных сетей в процессе распознавания изображений объектов Голлин-теста.

Примеры разворачивания ответов различных зон областей лобной, теменной, височной и затылочной коры правого полушария на зрительный сигнал приведены на рисунке 8. Сильный ранний ответ на неопределенность ситуации, начинается не в зрительной, а в теменной BA7, и еще в слуховой коре – BA21, 22, 23. Зона BA37, расположенная в задней части нижневисочной области и в фузиформной извилине, имеет значимые «возбуждающие и тормозные связи» с левой нижневисочной областью (BA20, BA21), с левой префронтальной корой (BA9, BA46, BA45 и BA47), левой инсулой (BA13), левым и правым предклиньем - prescineus (захватывающая зоны BA7, BA19) и с затылочной областью (BA17, 18, 19).

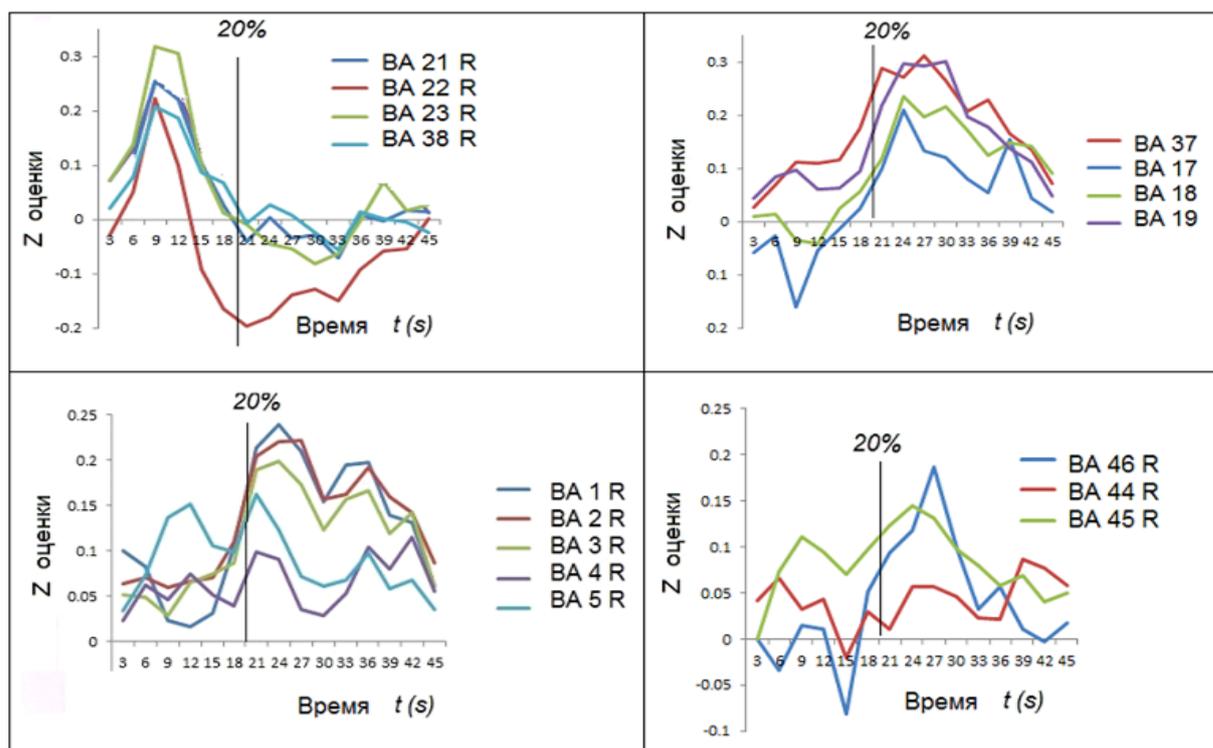


Рисунок 8. Обобщающая демонстрация разворачивания во времени отклика всего мозга на динамический стимул зрительный стимул. Показаны отклики выбранных областей лобной, теменной, височной и затылочной коры.

Подготовка к инсайту формируется в ВА37. Именно там раньше всего (ранее, чем в ВА17) начинается реакция на формирование целостной картинки. В ВА37 формируется «инкубационный период» инсайта, и затем «внезапно» развивается само понимание изображаемого фрагментами изображения. Наклон переднего фронта отклика соматосенсорной и двигательной коры острый, она начинает действовать после возникновения инсайта (принятие решения) и не отражает состояния «инкубации» инсайта.

В главе 4 «Обсуждение полученных результатов» данные диссертационного исследования сопоставляются с результатами, полученными в других исследованиях. Подчеркнута оригинальность метода исследования возникновения инсайта в процессе распознавания формы изображения; значимость результатов исследования активности мозга методом фМРТ, установленных закономерностей перестройки крупномасштабной нейронной сети в процессе распознавания в условиях неопределенности и возникновения инсайта. При этом отмечены изменения активации зон, относящихся к расширенным речевым областям (Ardila, Bernal, Rosselli, 2016). Для некоторых из них (ВА37), это может отражать влияние зрительно-лексических ассоциаций, сопровождающих процесс распознавания неполных изображений.

Особый интерес представляет сравнение полученных данных фМРТ с электрофизиологическими исследованиями восприятия неполных изображений. Так Д.А. Фарбер и Н.Е. Петренко (Фарбер, Петренко, 2008), методом регистрации связанных с событиями потенциалов, показали ведущую роль лобных областей на разных стадиях извлечения информации из памяти, Е.С. Михайлова с коллегами (Mikhailova et al, 2012) показали гендерные различия в восприятии фрагментированных изображений. Наиболее близкие данные к результатам проведенного исследования были получены в работе (Kounios, Beeman, 2014). Авторами было установлено, что при предъявлении другого класса изображений, при другой модели инсайта, перед его возникновением в электроэнцефалограмме испытуемых доминирование альфа ритма сменяется доминированием гамма ритма. Эти данные, полученные при тестировании другой модели инсайта, коррелируют с результатами проведенного диссертационного исследования.

Заключение. Согласно цели диссертационной работы проведено нейрофизиологическое исследование состояния инсайта, для методического обеспечения которого разработана технология моделирования феномена, связанного со скачкообразным переходом от неосознаваемых процессов восприятия в условиях неопределенности к принятию решения о распознавании зрительного объекта с характерной эмоциональной реакцией.

Для решения поставленных задач использовалась компьютерная версия Голлин-теста, ранее применявшегося в физиологических исследованиях зрительного восприятия и сенсорно-когнитивного взаимодействия. Впервые пороги распознавания неполных контурных изображений, сопровождаемые яркими эмоциональными реакциями, отождествлялись с инсайтом, характеристики которого зависели от сложности объекта, скорости нарастания числа фрагментов его контура, состояния испытуемого. Эти величины были экспериментально подобраны для проведения психофизических и нейрофизиологических (фМРТ) измерений. Полученные данные свидетельствуют, что решению задач путем озарения предшествуют бессознательные нейронные процессы. При этом активность в зонах головного мозга при распознавании в Голлин-тесте сходна с описанными в литературе данными, полученными другими методами и при других условиях вызова инсайта. Это подтверждает адекватность выбора разработанной экспериментальной модели и надежность результатов проведенного исследования.

Показано, что отражение активности разных зон мозга человека при распознавании в Голлин-тесте представляет собой матрицу закономерно чередующихся активированных и заторможенных структур. Наиболее ярко оппонентные (антагонистические) отношения проявляются между зоной ВА37 и прекуниус, менее выражены они между зонами ВА9 и ВА10. Эти зоны являются наиболее важными для выполнения Голлин-теста: зона ВА37 обеспечивает объединение фрагментов в целостный образ; зоны ВА9 и ВА10 - активно участвуют в принятии решения. В целом, наличие оппонентных соотношений между теменной и нижневисочной корой, между правыми и левыми долями префронтальной коры хорошо согласуется с положением В.Д. Глезера о двойной дихотомии мозга. В то же время анализ оппонентности указывает на значительно большее число участников процессов, обеспечивающих инсайт. Регистрация теменно-височного взаимодействия и участие поясной извилины позволяет также предполагать, что инсайт является более древним в филогенезе механизмом по сравнению с аналитическим способом решения задач.

Таким образом, можно заключить, что структуры мозга, определяющие важнейшие когнитивные функции при развитии инсайта и сопровождающие их эмоциональные процессы, взаимодействуют синхронно, но в оппонентных отношениях. В результате становится возможным принятие решения по многим критериям и по разным, даже противоречащим друг другу, оценкам происходящих событий. Полученные данные о нейрофизиологических механизмах инсайта и процессе принятия решений в условиях неопределенности могут быть использованы для оптимизации искусственной нейронной сети (локальной и крупномасштабной), обеспечивающей целенаправленное поведение.

В методическом плане, технология моделирования инсайта с применением объективных и субъективных методов измерений его свойств, разработанная и апробированная в диссертационном исследовании, является эффективной и может быть использована в научной, медицинской и образовательной практике. В первую

очередь, для диагностики мозговых дисфункций и оптимизации восстановления пациентов, имеющих сенсорно-когнитивные расстройства (неврология, нейрофизиология, клиническая психология, ассистивные нейротехнологии).

ВЫВОДЫ:

1. Разработан и апробирован метод исследования механизмов инсайтного (эвристического) принятия решения при восприятии формы неполных, фрагментированных изображений в условиях неопределенности, когда момент достижения порога распознавания отождествлен с моментом возникновения инсайта. Показано, что порог распознавания, именно и только в условиях неопределенности, обладает всеми атрибутами инсайта – этапом накопления информации (прединсайт), этапом внезапного, с проявлением эмоций, принятия решения в условиях неопределенности (инсайт), этапом последствия (постинсайт) – с ответной двигательной реакцией и проверкой принятого решения.

2. При проведении психофизического исследования, объективными и субъективными методами измерений, включая метод интроспекции, установлено, что порог распознавания для незнакомого алфавита стимулов в условиях неопределенности составляет 20% ($\pm 5\%$) от длины контура объекта, причем его достижение (момент инсайта) в 92% случаев сопровождается выраженной эмоциональной реакцией испытуемых.

3. Разработана и апробирована методика исследования состояния нейронной сети в момент возникновения инсайта с применением функциональной магнитно-резонансной томографии, базирующаяся на согласовании динамических характеристик тестовой стимуляции и регистрируемых сигналов. С ее помощью: осуществлена нейровизуализация активности различных областей головного мозга, включая фиксацию изменений BOLD-сигнала во времени; получены новые данные об объективных маркерах инсайта – структурных и уровневых показателей активности головного мозга человека в процессе эвристического решения сенсорно-когнитивной задачи.

4. На основе анализа данных фМРТ установлены взаимосвязи нейронных сетей головного мозга человека на различных стадиях развития инсайта и процесса принятия решения в условиях неопределенности. При достижении порога зрительного распознавания, отождествленного с моментом возникновения инсайта: зафиксирована перестройка нейронных сетей относительно состояния неопределенности до достижения порога и состояния полной определенности после достижения порога; выявлена повышенная активность в затылочных-задневисочных областях ВА37, ВА19 и во фронтальной коре в зонах ВА45, ВА46, преимущественно в правом полушарии, т.е. в зонах, аналогичных расширенным речевым областям Вернике и Брока в левом полушарии. Совокупность полученных данных свидетельствует, что в период до порога распознавания неполных изображений (прединсайт), в момент достижения порога распознавания (инсайт) и

после достижения порога распознавания (постинсайт) происходит перераспределение активности основных крупномасштабных нейронных сетей головного мозга человека.

5. Обнаружено, что во время возникновения инсайта сложная сеть задневисочной (ВА37), затылочной (ВА17, 18, 19) и префронтальной (ВА45, ВА46) коры находится в противоположном состоянии с теменной (ВА7), поясной (ВА24), лобной (ВА44) и височной (ВА20, ВА21, ВА22) корой, что отражает оппонентные взаимосвязи крупномасштабных нейронных сетей височно-затылочной (активация) и теменной (торможение) коры; префронтальной коры (активация) с передними отделами поясной извилины (торможение) в момент инсайтного решения задачи распознавания.

6. В момент возникновения инсайта: выявлена максимальная, относительно других областей мозга, активность в зоне ВА37 обоих полушарий, свидетельствующая о процессах формирования целостного образа зрительного объекта с возможным проявлением сопутствующих зрительно-лексических ассоциаций (расширенная зона Вернике); зарегистрирована повышенная активность в моторной и соматосенсорной коре в зонах ВА1, ВА2, ВА3, ВА4, показывающая, что двигательная исполнительная реакция выступает надежным маркером инсайта (принятия решения) и сопровождающих инсайт эмоциональных реакций.

7. Показаны межполушарные различия в активации нейронных сетей головного мозга в процессе развития инсайта: в зонах ВА7, ВА9 и ВА13 (передняя правая инсула) они достигают наибольших значений в момент распознавания; в зоне ВА37 становятся значимыми в после пороговый период (после инсайта).

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в российских изданиях, входящих в перечень ВАК:

1. Shelepin K.Y., Vasilev P.P., Trufanov G.E., Fokin V.A., Sokolov A.V. Digital visualization of the activity of neural networks of the human brain before, during, and after Insight when images are being recognized // Journal of Optical Technology. - 2018.- Т.85, №8.- С.468-475. (журнал включен в базы Scopus и Web of Science).

2. Шелепин К.Ю., Соколов А.В., Фокин В.А., Васильев П.П., Пронин С.В. Феномен инсайта и цифровая визуализация активности головного мозга человека // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Психология». – 2017.– Т.10, №4.- С.47–55.

3. Shelepin K.Yu., Pronin S.V., Shelepin Yu.E. Recognizing fragmented images and the appearance of “Insight” // Journal of Optical Technology. - 2015.- Т.82, №10.- С.700-706. (журнал включен в базы Scopus и Web of Science.)

4. Ходотова З.Н., Иванова Л.Е., Носов В.Н., Вершинина Е.А., Варовин И.А., Шелепин К.Ю. Разработка маркеров функционального состояния организма животных // Биотехносфера.– 2014.– №1-2.– С. 30-32.

Главы в монографиях:

5. Шелепин К.Ю., Труфанов Г.Е., Фокин В.А., Васильев П.П., Соколов А.В. Активность нейронных сетей головного мозга человека до, во время и после инсайта при распознавании изображений // Нейротехнологии.– 2018.– СПб: Изд-во ВВМ.– С.220-244. (ISBN 978-5-9651-1198-5)

Публикации в периодических изданиях и материалах научных конференций:

6. Шелепин К.Ю., Шелепин Е.Ю., Балякова А.А. Ассистивные технологии в альтернативной коммуникации // В сборнике: Технологии реабилитации: наука и практика. Материалы международной научной конференции (главный редактор Г.Н. Пономаренко). – СПб: ООО «Р-КОПИ», 2018. – С.98-99.

7. Shelepin K.Yu., Vasiliev P.P., Trufanov G.E., Fokin V.A., Sokolov A.V. Neurophysiology investigation of Insight in humans // Proceedings of the IEEE International Conference “Video and Audio Signal Processing in the Context of Neurotechnologies».- St.Petersburg: VVM Publishing Ltd. -2018.- P.11-13.

8. Shelepin K.Yu., Baliakova A.A., Shelepin E.Yu. Alternative communication and practice of its application // Proceedings of the IEEE International Conference “Video and Audio Signal Processing in the Context of Neurotechnologies». St. Petersburg: VVM Publishing Ltd. - 2018. - P.19.

9. Балякова А.А., Шелепин К.Ю., Шелепин Е.Ю. Практическое применение ассистивных нейротехнологий в реабилитации при двигательных нарушениях // В сб.: Реабилитация - XXI век: традиции и инновации. Материалы II Национального конгресса с международным участием (глав. ред. Г.Н. Пономаренко). СПб: ООО «Р-КОПИ».- 2018.- С.128-129.

10. Шелепин К.Ю., Васильев П.П., Труфанов Г.Е., Фокин В.А., Соколов А.В., Пронин С.В., Жукова О.В., Шелепин Ю.Е. Нейрофизиологические механизмы инсайта как порогового явления // В сб.: Технологическая перспектива в рамках Евразийского пространства: новые рынки и точки экономического роста. Материалы 3-ей Международной научной конференции.– СПб: Центр научно-информационных технологий «Астерион».- 2017. – С.314-317.

11. Шелепин К.Ю., Васильев П.П., Жукова О.В. Нейронные сети головного мозга человека в момент возникновения инсайта // В сборнике: Материалы XXIII съезда Физиологического общества им. И.П. Павлова с международным участием.– Воронеж: Изд-во «ИСТОКИ», 2017.– С.1639-1640.

12. Shelepin K., Shelepin Yu. The insight as a psychophysical threshold effect, which connects cognitive and emotional components // В сб.: Фехнер день 2016 - Труды 32-й ежегодной конференции Международного психофизического общества (под ред. И. Скотниковой, О. Корольковой, И. Блинниковой, В. Дубровского, В. Шендяпина, Н.Волковой).- М.: Изд-во «Институт психологии РАН».- 2016.– С.45.

13. Shelepin K.Y., Zhukova O. The insight and pattern recognition threshold // Proceedings of the IEEE International Conference “Video and Audio Signal Processing in the Context of Neurotechnologies». St. Petersburg: VVM Publishing Ltd. - 2016. - P.81.

14. Шелепин К.Ю. Голлин-тест как модель инсайта // Тезисы докладов. Седьмая международная конференция по когнитивной науке (отв. ред.: Ю.И. Александров, К.В. Анохин). – М.: Изд-во «Институт психологии РАН».- 2016.- С.633.

15. Шелепин К.Ю., Шелепин Ю.Е. Пороги распознавания фрагментированных изображений как мера «инсайта» // Ананьевские чтения - 2015: Фундаментальные

проблемы психологии: материалы научной конференции (отв. ред. В.М. Аллахвердов).- СПб: СПбГУ Скифия-принт.- 2015.- С.13.

16. Шелепин К.Ю., Шелепин Ю.Е. Нейрофизиология «инсайта» // Петербургский психологический журнал.– 2015.– №11.– С.19-38.