

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ФИЗИОЛОГИИ им. И.П. ПАВЛОВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

Шелепин
Константин Юрьевич

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ИНСАЙТА

Специальность: 03.03.01 - физиология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
кандидат биологических наук
Огородникова Е.А.

Санкт-Петербург

2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ ИНСАЙТА	16
1.1 История естественнонаучного изучения инсайта и становления понятия	16
1.2 Экспериментальное изучение инсайта	21
1.3 Нейрофизиологические характеристики инсайта	32
Глава 2 МЕТОДЫ И ДИЗАЙН ИССЛЕДОВАНИЯ	44
2.1 Характеристики и набор выборки исследования	44
2.2 Методы исследования	46
2.2.1 Психофизиологические методы	46
2.2.1.1 Голлин-тест	46
2.2.1.2 Видеоокулография	50
2.2.2 Психологический метод – самооценка эмоционального состояния	51
2.2.3 Метод нейровизуализации – фМРТ	53
2.3 Этапы и процедуры исследования	54
2.3.1 Этап апробации метода исследования инсайта с использованием психофизиологических и психологических маркеров	54
2.3.2 Этап апробации метода исследования состояния нейронной сети в момент возникновения инсайта с использованием нейровизуализации	56
Глава 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ ИНСАЙТА	59
3.1 Результаты исследования возникновения инсайта в процессе распознавания формы изображения с возможностью измерения порогов распознавания	59
3.2 Взаимосвязь порогов возникновения инсайта (распознавания) с эмоциональными составляющими моторного отклика, отражающего принятие решения	62

3.3	Результаты исследования состояния нейронной сети методом фМРТ в момент возникновения инсайта	63
3.3.1	Первая серия исследований	64
3.3.2	Вторая серия исследований	67
3.3.2.1	Анализ карт активности мозга	67
3.3.2.2	Анализ активности мозга на основании изменения BOLD-сигнала	71
3.4	Межполушарные различия в активации нейронных сетей в момент возникновения инсайта	83
Глава 4	ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ	89
4.1	Обсуждение метода моделирования и исследования возникновения инсайта в процессе распознавания формы изображения с возможностью измерения порогов распознавания	89
4.2	Обсуждение результатов апробации методики и исследования активности мозга методом фМРТ при распознавании в условиях неопределенности и возникновении инсайта	94
4.3	Закономерности перестройки крупномасштабной нейронной сети при распознавании в условиях неопределенности и возникновения инсайта	100
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	116
	ВЫВОДЫ	120
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	122
	ПРИЛОЖЕНИЕ №1 Значения парного t-теста различных областей головного мозга	143
	ПРИЛОЖЕНИЕ №2 Материалы рассмотрения исследования Этическим комитетом Санкт-Петербургского государственного университета	176
	ПРИЛОЖЕНИЕ №3 Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ «eyeCommunicator»	181

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В сенсорной физиологии ключевой проблемой является проблема перехода неосознаваемого описания происходящих событий в осознаваемое и изучения нейрофизиологических механизмов, обеспечивающих этот процесс. Наиболее ярко этот переход проявляется в состоянии «инсайта». Термин «инсайт», «ага-эффект», «эврика» или «озарение» используют для обозначения внезапного интуитивного понимания поставленной проблемы и нахождения её решения. Это явление многогранно и проявляется при погружении человека в решение самых разных задач (Ключарев, Шмидс, Шестакова, 2011). Появление неожиданной (инсайтной) идеи, как правило, сопровождается позитивными эмоциями (Glick, Lockhart, 1995).

Современное определение, а также анализ существующих проблем в экспериментальном изучении инсайта дан в обширном обзоре работ в этой области J. Kounios и M. Beeman (Kounios, Beeman, 2014). Большинство исследователей отождествляют инсайт с переходом неосознаваемых нейрофизиологических процессов в осознаваемые психологические процессы, практически неподдающиеся психофизиологическим и психофизическим измерениям. Иногда инсайт соотносят с «пониманием» вообще. Однако понимание может достигаться аналитически с поэтапным, последовательным решением задачи. Спецификой состояния инсайта, в отличие от последовательного достижения понимания или решения проблемы, является то, что инсайт возникает внезапно и поэтому сопровождается ярким эмоциональным всплеском.

Ранее считали, что инсайт не может быть реализован в существующих искусственных распознающих системах, так как представляет явление, присущее исключительно психике человека. В то же время, важность технической реализации этого психологического явления чрезвычайно высока. В реальной жизни с технологией зрительного инсайта может быть связано решение сложных задач в различных экстремальных ситуациях,

например, демаскировка противника в ходе военных действий, распознавание не полностью открытых или частично разрушенных объектов, обнаружение патологических очагов среди здоровых органов и тканей и др.

Бурное развитие нейротехнологий, наблюдающееся в последние годы в медицине, как и в биологии и в инженерных науках, особенно в отношении создания искусственных автономных систем, обеспечивающих целенаправленную деятельность и принятие решений (например, при использовании робототехники и дистантных технологий в хирургии), обуславливает актуальность фундаментальных и прикладных исследований нейрофизиологических механизмов инсайта. Особый интерес в этой связи представляет моделирование этого феномена и деятельности нейронных сетей головного мозга человека в задачах, решаемых неаналитическим способом. Это направление работ создает необходимую основу для создания систем искусственного интеллекта, потенциальное применение которых возможно при решении большого числа актуальных проблем современной медицины и общества. Как показывает анализ современных тенденций развития инженерных решений в этой области, часть из них созвучна традиционным представлениям гештальт-подхода в психологии. Именно в рамках гештальт-подхода Дэвид Филд и Роберт Гесс смогли предложить новые методы демонстрации возникновения инсайта. Они предложили модель нейронной сети, имитирующую работу цитоархитектонической зоны 17 (Brodmann area BA17), констатирующую наличие или отсутствие паттерна, составленного из разрозненных коллинеарных элементов в условиях помехи (Field et al., 1993; Hess, Field, 1999). Но для проведения систематических экспериментальных исследований этого было недостаточно, актуальной задачей оставалось создание способа количественного измерения порога возникновения, оценки наличия и выраженности эффекта инсайта. Основой такого способа могли стать методы, используемые в физиологии сенсорных систем при исследовании восприятия человека в условиях неопределенности сенсорной информации. Поэтому, с учетом идей

Филда и Гесса и опыта изучения механизмов зрительного восприятия, в качестве методической основы настоящей работе был выбран метод оценки распознавания паттернов, образованных из разрозненных элементов изображений. Момент возникновения инсайта был отождествлен с порогом распознавания формы в условиях неопределенности – предъявления неполных отображений контуров объектов. При этом важно отметить, что не всякий психофизический порог и процесс его достижение, может считаться аналогом инсайта. Эффект неопределённости, этап предварительного неосознаваемого накопления информации и эмоциональное сопровождение порога распознавания являются отличительными и необходимыми атрибутами инсайта, которые отсутствуют при определении большинства других психофизических порогов - например, порогов чувствительности или разрешающей способности сенсорных систем.

Научные исследования в области изучения когнитивных процессов свидетельствуют о том, что мозг человека обладает двумя основными стратегиями принятия решений. Одна из них представляет собой осознанный логический анализ задачи и ее поэтапное и осознанное решение. Вторая – предполагает неосознаваемое накопление необходимой информации без ее последовательного анализа для поиска решения, которое приходит внезапно, скачкообразно, в виде озарения. Современное развитие аппаратно-программных средств исследования деятельности мозга открывает широкие возможности для изучения механизмов, обеспечивающих эти процессы. В первую очередь, это касается перехода от психологических (субъективных) к нейрофизиологическим методам, позволяющим изучать механизмы инсайта. Актуальность подобных исследований обусловлена тем, что инсайт, будучи более быстрым типом мышления, может выступать более эффективным и мощным способом решения многих прикладных задач. Особенно это важно при решении задач в условиях неопределенности и дефицита времени, в частности в чрезвычайных ситуациях экстренной медицины.

Не менее актуальной является и разработка технологии моделирования инсайта в плане диагностики и лечения сенсорно-когнитивных дисфункций у пациентов с острыми и хроническими заболеваниями различного генеза. В то же время, степень разработанности этой проблемы остается недостаточной.

Степень разработанности проблемы. Представления об инсайте, как явлении и особом состоянии, 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 так называемого «проблемного ящика» - экспериментального устройства, куда помещали подопытных животных (Павлов, 1949; Торндайк, 1926, 1998). Результаты исследований отображались на определённых графиках, названных Торндайком «кривыми научения». Благодаря этим экспериментам, Торндайк сделал вывод, что животные действуют методом «проб, ошибок и случайного успеха» (Торндайк, 1926, 1998).

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 (Koffka, 1935; Kohler, 1947). Создатели гештальт-подхода обратили пристальное внимание на явление инсайта и инициировали систематическое изучение этого феномена (Kohler, 1947). Ими была предложена физическая модель инсайта, во многом наивная, но плодотворная для развития психологических исследований. Однако они не давали объяснения механизму возникновения зрительного инсайта, а лишь говорили о «сложном мыслительном» процессе (Kohler, 1947). В то же время в физиологии, И.П. Павлов предсказал, что такой феномен 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, 1973). В конце XX века было показано, что взаимодействие в нейронной сети первичной зрительной коры

обеспечивают «горизонтальные» связи и именно их наличие определяет, в некоторых случаях, целостное восприятие разрозненных фрагментов (Kovach, Julesz, 1993; Hess, Field, 1999; Olshausen, Field, 2004; Ghosh, Petkov, 2005).

Существует ряд современных отечественных теоретических и эмпирических работ, посвященных феномену инсайта (Пономарев Я.А., Валуева Е.А., Ушаков Д.В., Владимиров И.Ю., Чистопольская А.В.). В частности, в аналитическом обзоре теоретических моделей инсайта Валуева и Ушаков выделяют три основных концепции данного феномена, как проявления внезапного, эвристического решения задачи: концепцию Пуанкаре, связывающую инсайт с решением, возникшим случайным и хаотичным образом; концепцию гештальтистов, делающую акцент на переструктурировании целого (переход от одного устойчивого состояния к другому) и концепцию Пономарева о понимании инсайта как скачкообразной передачи информации от интуиции к логике (Валуева, Ушаков, 2015). При этом до настоящего времени остается недостаточно проработанной проблема создания надежных и удобных технологий моделирования инсайта, пригодных для объективных измерений, с помощью которых можно было бы плодотворно изучать нейрофизиологические механизмы этого феномена.

Подходы к решению этого вопроса наметились только в последние годы в связи с бурным развитием информационных и инженерных технологий. С появлением методов цифрового синтеза Д. Филд (США) и Р. Гесс (Канада) предложили использовать возможность создания фрагментируемых изображений в качестве тестов для демонстрации явления инсайта. Их метод был построен на знаниях организации и работы нейронных сетей зрительной коры (Field et al., 1993; Hess, Field, 1999). Однако, как уже отмечалось, это была лишь демонстрация явления, но не метод измерения порогов возникновения инсайта. Технологии и методы, позволяющие комплексно исследовать феномен инсайта различной модальности в норме и патологии, остаются недостаточно адекватными и

удобными для экспериментального применения. В то же время, изучение и понимание механизмов инсайта может стать основой принципиально новых подходов и разработок в медицине и реабилитологии. Необходимость поиска новых научно-методических подходов и получения экспериментальных данных по этому направлению исследований определила постановку цели и задач настоящего исследования.

Цель исследования – разработка технологии моделирования инсайта и ее эмпирическая верификация в ходе экспериментального исследования нейрофизиологических механизмов 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 (распознавания) 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.

Объект исследования. Процесс инсайтного принятия решений у молодых здоровых людей обоего пола в возрасте от 24 до 25 лет.

Предмет исследования. Нейрофизиологические механизмы возникновения инсайта при решении зрительных задач распознавания форм контурных объектов.

Гипотезы исследования.

Основная гипотеза: Технология (методика) медленного пошагово нарастающего предъявления фрагментов фигур при решении задачи распознавания образов будет приводить к возникновению инсайта и позволит с применением инерционного метода функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) регистрировать ответы мозга на эту последовательность стимуляции.

Частные гипотезы: 1) Нейрофизиологические маркеры инсайта будут значимо отличаться от аналогичных параметров процесса поэтапного аналитического принятия решения задачи; 2) Возникновение инсайта будет характеризоваться специфическими особенностями состояния нейронных сетей и проявлениями межполушарной асимметрии крупномасштабных нейронных сетей, обеспечивающих его развитие.

Теоретическую и методологическую основу исследования составили: психофизические законы и принципы Бугера, Вебера, Фехнера, Стивенса, принципы переработки информации в сенсорных системах (Эдриан Э.Д., Барлоу Г., Кемпбелл Ф., Хьюбел Д., Глезер В.Д, Цуккерман И.И., Красильников Н.Н.), учение о системном характере высших психических функций и их динамической локализации в головном мозге человека (И.П. Павлов, Б.П. Бабкин, Е.П. Кононова, А.А. Ухтомский, Д.Х. Джексон, Е.П. Кок, А.Р. Лурия, Н.П. Бехтерева, П.К. Анохин,), теория нейронных сетей (Хебб Д., Розенблатт Ф., Фукусима, Дж. Хопфилд, Ван дер Малсбург, Т. Кохонен), психологические исследования восприятия (Б.Ф. Ломов, В.А. Барабанщиков, В.Н. Носуленко, Е.С. Самойленко), теоретические и методологические представления психологии эмоций (К. Изард, П. Экман, У. Фризен), современные технологии цифрового синтеза изображений и нейровизуализации.

Методы и выборка исследования. Общая выборка участников исследования на двух этапах его проведения составила 74 человека обоего пола, без диагностированных патологий, правшей, средний возраст 24,5 лет.

Для достижения цели и задач исследования были использованы следующие методы. *На первом этапе исследования* в качестве инструмента изучения инсайта выступала специально адаптированная методика определения порога распознавания неполных фрагментированных изображений - компьютеризированный метод Голлин-теста (Foreman, Hemmings, 1987; Шелепин и др., 2015) в версии, разработанной в лаборатории физиологии зрения ИФ РАН (Chernova et al., 1999; Шелепин и др., 2015). Для диагностики возникновения яркого эмоционального состояния как одной из основных характеристик инсайтного решения использовалась методика самооценки психоэмоционального состояния испытуемых (метод интроспекции). В целях осуществления контроля внимания был применен метод видеоокулографии, позволяющий получать объективные данные о направлении взора испытуемого и его фиксации на предъявляемых стимулах. *На втором этапе исследования* при изучении состояния нейронных сетей в процессе возникновения инсайта использовали метод функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ). Для выявления распределения активности в головном мозге человека при наблюдении постепенного наращивания контура была разработана методика согласования динамических характеристик тестовой стимуляции и регистрируемых сигналов в фМРТ.

До начала измерений с каждым испытуемым проводилась индивидуальная процедура информированного согласия. Протокол и материалы исследования, включая формы информированных согласий для испытуемых, были рассмотрены и одобрены Этическим комитетом Санкт-Петербургского государственного университета, имеющим международную аккредитацию по этической экспертизе поведенческих и социальных исследований с участием людей (решение об одобрении от 12.06.2017 № 02-124, Приложение №2).

Научная новизна исследования. В работе предложено новое решение методической задачи, позволившее провести исследование состояния

крупномасштабных нейронных сетей в момент инсайта при достижении порога распознавания фрагментированных изображений в условиях неопределенности (экспериментальная модель инсайта). Модель прошла эмпирическую верификацию, в результате которой были подтверждены основные свойства инсайтного решения, а именно: инкубационный период неосознаваемого накопления информации (прединсайт), необходимый для решения задачи; момент решения задачи, отождествляемый с порогом распознавания и осознаваемым принятием решения, которое сопровождается выраженной эмоциональной составляющей. Показано, что при последовательном предъявлении неполных изображений, вызывающих отклик мозга, его величина максимальна в момент порога распознавания, отождествляемого с инсайтом, что также свидетельствует об адекватности предложенной модели. На этой методической основе получены новые данные.

Установлено, что возникновение инсайта обеспечивается деятельностью и перестройкой активности крупномасштабной нейронной сети, захватывающей ключевые элементы затылочной, височной и лобной областей, между которыми в процессе возникновения инсайта наблюдаются, как было показано впервые, оппонентные взаимоотношения. Кроме того, данные нейрофизиологического исследования объективно подтверждают гипотезу о наличии межполушарной асимметрии крупномасштабных нейронных сетей, обеспечивающих возникновение инсайта.

Результаты исследования дают основу для нового понимания работы мозга и развития нейротехнологий, имитирующих инсайтный тип принятия решения когнитивной задачи в условиях неопределенности, который может быть успешным, а иногда и единственно возможным способом преодоления экстремальных ситуаций.

Теоретическая и практическая значимость исследования. В теоретическом и прикладном аспекте, данная тема, согласно перечню, приведенному в Указе Президента Российской Федерации от 7 июля 2011

года №899, относится к приоритетному направлению развития науки (нано-, био-, информационные, когнитивные технологии) и может внести вклад в развитие критических технологий Российской Федерации.

Полученные данные расширяют существующие представления о порогах распознавания неполных контурных изображений, отождествляемых с инсайтом в условиях неопределенности. Обнаруженная активация нейронных сетей головного мозга при достижении порога распознавания позволяет приблизиться к пониманию нейрофизиологических механизмов возникновения инсайта, а также к их реализации в нейронных сетях глубокого обучения систем искусственного интеллекта, обеспечивающих возможность принятия решений на уровне человека.

Результаты проведенного исследования могут быть использованы: при проведении фундаментальных и прикладных исследований (моделирование и стимуляция инсайта); разработке специального тренинга принятия 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 прошла успешную апробацию в рамках диагностики и лечения когнитивных нарушений у различных пациентов в ряде 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, Приложение №3) использовано в инновационной ассистивной системе для альтернативной коммуникации, поддержанной профильной ассоциацией пользователей.

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 научно-обоснованной 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 ему – 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 были представлены устными докладами на российских и международных конференциях: 5-th German-Russian Congress «Mental Health in Germany and Russia: Prevention of Psychological Disorders» (Гамбург, Германия, 2018); The 1st «Beritashvili Talks», Neurophysiological Functions and their Disorders – Interdisciplinary Studies (Тбилиси, Грузия, 2018); «Обработка сигналов изображения и звука в контексте нейротехнологий» (СПб, Россия, 2018); «Невский радиологический форум-2018» (СПб, Россия, 2018); «Поленовские чтения» (СПб, Россия, 2018); «Одаренность и успешность» (Сочи, Россия, 2018); XXIII съезд Физиологического общества им. И.П. Павлова (Воронеж, Россия, 2017); Fehner Day – 2016 (Москва, Россия, 2016); «Обработка сигналов изображения и звука в контексте нейротехнологий» (СПб, Россия, 2016); Седьмая международная конференция по когнитивной науке (Светлогорск, Россия, 2016); Международная научная конференция «Ананьевские чтения - 2015» (СПб, Россия, 2015).

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 автором лично 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.

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

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, в списке литературы представлены 189 источников.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ ИНСАЙТА

1.1. История естественнонаучного изучения инсайта и становления понятия

Представления об инсайте (от англ. insight – проникновение в суть) известны с глубокой древности. Многим известна ситуация, когда можно потратить уйму времени в размышлениях, направленных на решение задачи, и после того, как все систематические попытки ее решить терпят фиаско, внезапная идея, озарение, приносит решение. Такие идеи возникают совершенно неожиданно, скачкообразно, и часто на фоне ощущения, что решить задачу не представляется возможным.

В качестве ярких и широко известных исторических преданий о проявлениях «инсайта» можно привести пример из жизни Архимеда, который длительное время пытался решить задачу измерения объема предметов сложной формы. При погружении в ванну Архимед продолжал думать о решении поставленной перед ним задачи. В тот момент, когда его тело погружалось в воду, а уровень воды возрос до порогового значения, возникло решение задачи, как озарение, «инсайт». Озарение в действительности явилось результатом длительного размышления над сутью трудной задачи. Переключение деятельности, невольное слежение за уровнем воды при погружении (наблюдение), явились подсказкой для «внезапного» понимания как можно проводить измерение объема объектов сложной формы. Обычно приводится реплика Архимеда – «Эврика!», которую он воскликнул, испытав мгновенное озарение. Поэтому при описании неаналитических решений используется термин «эвристическое» решение задачи. Можно привести и другие примеры из разных областей деятельности человека. Общеизвестны многие «инсайтные» решения сложнейших проблем. Д.И. Менделеев после многолетнего поиска взаимосвязи между химическими элементами открыл знаменитый

периодический закон в 1869 году при написании учебника химии. Именно работа с «двумерными пространственными моделями» (наборами карточек с названиями и характеристиками химических элементов) привела его к инсайтному решению с построением двумерной системы из строк и столбцов, уточняющей свойства известных элементов и предсказывающей свойства еще не открытых. Подробный ход размышлений и озарение исследователей при построении трехмерной модели двунитевой спирали ДНК и открытии принципа передачи наследственного кода, получили широкую известность благодаря знаменитой книге «Двойная спираль» Джеймса Уотсона (Уотсон, 1969). Это уникальный документированный пример описания творческого процесса как чередования аналитического и эвристического решений сложнейшей задачи.

Интересна история возникновения инсайта астронома Уильяма Моргана при открытии им модели галактической спиральной структуры Млечного Пути. Однажды, после долгих лет изучения группы горячих ярких звезд, он взглянул на небо и внезапно испытал состояние духа, которое назвал «вспышкой вдохновения, творческим интуитивным взрывом». Морган внезапно понял, что звезды организованы в трехмерном пространстве в нитевидные «структуры» и осознал, что прядильная форма является моделью галактической спиральной структуры Млечного Пути. Это было настолько простое и неожиданное решение давней проблемы, что его изложение автором в научном докладе, по воспоминаниям современников, «сопровождалось долгими аплодисментами и топаньем ног» восторженных слушателей.

Инсайт - важный феномен в жизни человека по нескольким причинам. Это форма познания, которая встречается в разных областях. Например, помимо решения проблемы, инсайт также может дать понимание шутки или метафоры, помочь распознать объект на двусмысленной или размытой картинке или что-то понять о себе. Инсайт противопоставляется детальному рассмотрению и последовательному аналитическому способу решения

проблем. Он происходит, когда решение приходит неосознанно, а затем внезапно проявляется в сознании (Bowden, Jung-Beeman, 2003a; Smith, Kounios, 1996). Его возникновение подразумевает концептуальную реорганизацию проблемы, приводящую к ее новой, неочевидной интерпретации. Поэтому инсайт часто называют формой творчества (Friedman, Forster, 2005).

Дать точное определение термина «Инсайт», как отмечают большинство исследователей, довольно затруднительно. Инсайт можно охарактеризовать как внезапное, неожиданное и удивительное возникновение понимания решения задачи в сознании человека, который занимается ее решением. Инсайт также определяется как внезапное изменение или формирование концепции, или другого типа представления знаний, часто приводящее к решению проблемы. Такие концепции (или идеи) возникают совершенно неожиданно, на фоне ощущения, что решить задачу не представляется возможным. При этом внезапность и простота выхода из сложившегося положения и нахождения решения резко контрастирует с систематическим, длительным и последовательным процессом, сопровождающим аналитический путь решения задач.

Считается, что феномен инсайта имеет свои атрибуты. В частности, внезапное озарение сопровождается ярким всплеском позитивных эмоций («Ага-эффектом»). Большую роль при этом играет положительный результат и неожиданность возникшего решения или способа его реализации (Glick, Lockhart, 1995). Большинство исследователей считает этот момент обязательным в развитии инсайта (Jung-Beeman et al., 2004, Smith, Kounios, 1996). В противоположность этому, аналитические решения проблемы, как правило, не сопровождаются ярким всплеском эмоций, за исключением, возможно, некоторого чувства удовлетворения от выполнения задачи.

Инсайт может быть особенно заметным, когда решение проблемы заходит в тупик, а внезапно возникшие идеи нарушают его и снимают «ментальный блок». К инсайту относят и ситуации, когда человек,

первоначально «зацикленный» на неправильной стратегии решения, для выхода из тупика и поиска решения смог по-новому взглянуть на проблему или же осуществить ее реструктуризацию. На основе нового взгляда часто рождается простая стратегия решения прежде невыполнимой задачи. Если узко охарактеризовать феномен инсайта, то можно рассматривать его как внезапное решение (или реструктуризация понимания) проблемы, которой предшествовала тупиковая ситуация, вызывающее положительную эмоциональную реакцию. Положительная и сильная эмоциональная реакция отражает состояние человека, занятого поиском решения, при котором его сознательные и целенаправленные усилия не приводят к результату, а непроизвольная и неожиданная идея внезапно обеспечивает преодоление этой проблемы и приводит к успешному решению трудной задачи (Ohlsson, 1992).

В настоящее время различные определения термина инсайт сосредоточены в основном на следующих трех характеристиках: величине феномена, величине задачи и величине процесса. Предложены критерии для разделения инсайтного и неинсайтного способов преодоления проблемы (Chronicle et al., 2004; Metcalfe, Wiebe, 1987; Schooler et al., 1993). По-видимому, наиболее удачным является величина процесса - соотношение сложности проблемы и количества шагов, которые применяют для ее решения. Если задача очень сложная, а использовано только малое число шагов, вероятнее всего это решение имеет инсайтный характер. Обоснованием этого критерия является то, что число возможных ходов считается одной из основных оценок трудности проблемы и в случае со стандартными задачами. Однако, оказалось трудно выделить общие и объективные критерии для такого разделения. Критерии часто, в той или иной степени, касаются феноменального опыта человека, решающего проблему. В таком случае, определение инсайта и определение инсайтной задачи замыкаются на себе: инсайтные задачи - это проблемы, требующие

инсайта, а феномен инсайта возникает, когда оказываются решенными инсайтные задачи.

Довольно часто предлагается определять инсайт как озарение и считать его проявлением внезапного понимания решения задачи, проблемы. При этом в рамках когнитивной психологии и когнитивной нейробиологии отсутствуют общее согласие в отношении того, что считать основным критерием озарения. Часть исследователей делают акцент на внезапности решения (Luo, Niki, 2003; Wagner et al., 2004). Однако этот подход и определение не охватывает все внезапные решения задач. Например, чтение изолированного незнакомого слова начинается с бессознательной обработки, за которым следует внезапное осознание, «реализация» его значения. Но это не будет «озарение», потому что этот процесс не связан с изменением психологического представления, реорганизацией задачи, это не ведет к неочевидному или не доминирующему объяснению (решению проблемы).

Еще одно широкое использование термина «озарение» можно найти в клинической психологии, в которой инсайт предлагают относить к самосознанию, часто к собственным симптомам, функциональным дефицитам или другим «затруднительным» положениям. Клинические и ненаучные применения этого термина не требуют внезапной реализации или эмоционального отклика, сопровождающего инсайт. В клинической психологии отсутствие эмоциональной реакции само по себе может считаться симптомом, означающим отсутствие понимания (Ключарев, Шмидс, Шестакова, 2011).

Предлагаемые различными научными и прикладными дисциплинами определения инсайта включают в себя много разнообразных, иногда слабо связанных явлений. Это затрудняет выработку четкого определения инсайта и общие выводы о нём. В обзоре работ по когнитивной нейронауке Dietrich и Kanso (Dietrich, Kanso, 2010) широко представлен диапазон описаний феномена инсайта в творчестве и научных исследованиях, а также различных определений, экспериментальных парадигм и эмпирических наблюдений,

касающихся этого процесса решений. В результате, из-за неизбирательной обобщенности, авторы обзора не смогли найти точек согласования для всех исследований и мнений и вынесли отрицательный вердикт по поводу обоснованности выделения инсайта как отдельного самостоятельного явления. Тем не менее, подавляющее большинство исследователей определяет инсайт как внезапное осознание, реализацию или решение проблемы. Причем оно предполагает либо изменение постановки задачи, либо изменение представлений человека, либо изменение восприятия стимула, ситуации или события, которое приводит к прояснению и новому решению задачи, не очевидному и не доминирующему вначале. Инсайт также не ограничивается какой-либо конкретной областью (Ключарев, Шмидс, Шестакова, 2011).

Решения задач путем инсайта, как правило, имеют схожий временной шаблон: сначала человек пробует решить задачу, опираясь на свой прошлый опыт. Если успех достигнуть не получается, то у человека возникает субъективное ощущение тупика и отсутствия плана, что делать дальше (Kershaw, Ohlsson, 2004; Knoblich et al., 1999; 2001; Ohlsson, 1984; 1992; Kaplan, Simon, 1990). При этом, он с упорством многократно и безрезультативно повторяет попытки решить задачу в той же парадигме или бросает на время попытки ее решения. Тем не менее, постоянное размышление и внимание к нерешенной задаче, может привести человека к инсайту. Если инсайт оказывается ошибочным, то тупиковая ситуация сохраняется. Но и ошибочное озарение иногда тоже подсказывает путь к правильному решению задачи.

1.2. Экспериментальное изучение инсайта

Начало экспериментального изучения инсайта относится к XIX веку. Американский психолог и педагог Эдвард Ли Торндайк, занимаясь исследованиями поведения животных, помещал животных в специальный ящик, снаружи которого раскладывался корм, который подопытное животное видело. Чтобы выбраться из ящика и добраться до корма, оно должно было

привести в действие определённое устройство, которое открывало дверцу. Опыты показали, что, попадая в неволю, животное всегда стремится выбраться на свободу. Среди хаотичных движений по освобождению, оно случайно производило действие, предоставляющее выход. При неоднократном повторении опыта возникало научение, и поведение животного изменялось: количество действий, приводящих к успеху, сокращалось, и животное высвобождалось быстрее. В своих опытах Торндайк использовал количественные измерения – записывал время, которое требовалось животному для высвобождения, регистрировал количество ошибок, проделанных животным до успешного выхода на свободу (Торндайк, 1926). Методы и идеи Торндайка в дальнейшем интенсивно использовали в своих исследованиях Б.Ф. Скиннер и В. Кёлер. Скиннер выдвинул концепцию «оперантного», подкрепляемого научения, как особого вида обучения животных: обучение с подкреплением (Skinner, 1938). В оперантном поведении источником активности является само животное, а не человек: собака совершает действие для того, чтобы ее поощрили, а не ждет команды дрессировщика. По мнению Скиннера, дрессировка с подкреплением обучает животных творческому поведению. Собаки, воспитанные обучением с подкреплением, начинают свою активность до команды хозяина, быстрее решают задачи, связанные с мыслительными процессами, у них чаще случаются инсайты - внезапное нахождение решения без предыдущих проб и ошибок или предыдущего обучения (Skinner, 1938).

В начале 20-х годов XX-го века в психологии стал активно развиваться гештальт-подход, возникший из исследований восприятия. Термин «гештальт» (образ, целостная форма, структура) был введен представителями немецкой психологической школы Максом Вертгеймером, Вольфгангом Келером и Куртом Коффка (Koffka, 1935; Kohler, 1947; 15. Вертгеймер, 1987). В рамках этого направления, психические процессы изучаются с учетом целостных структур (гештальтов), а сформировавшиеся гештальты всегда

являются цельными, завершенными структурами. Создатели гештальт-подхода обратили пристальное внимание на явление инсайта. Термин инсайт был впервые предложен в 1925 году Вольфгангом Кёлером и использовался в качестве характеристики человеческого мышления для описания состояния человека, при котором наблюдатель способен «мгновенно» (на основании интуитивной оценки пространственных распределений разрозненных элементов) обнаружить некоторую закономерность взаимосвязей между ними. Решение при таком типе мышления достигается путём внезапного постижения целого, а не в результате логического детального анализа представленной информации. На этом основании и была предложена физическая модель инсайта, во многом наивная, но плодотворная для развития исследований в этом направлении.

Сторонники гештальта-подхода выдвинули ряд принципов восприятия, имеющих прямое отношение к вопросам научения и памяти: принцип завершения и принцип понимания. Принцип завершения заключается в том, что человек стремимся к завершению незавершенного опыта. Например, если человек смотрит на линию круга, который не завершён, он мысленно завершает его и реагирует на фигуру как на замкнутый круг. Принцип понимания состоит в том, что человек обдумывает все составные части, необходимые для решения проблемы, складывает их вместе разными способами до тех пор, пока проблема не будет решена. Если решение приходит, то оно приходит неожиданно, т.е. человека «настигает» инсайт относительно решения проблемы. По мнению гештальт-психологов, инсайту предшествует внезапная реструктуризация, которая коренным образом меняет взаимосвязи между элементами решаемой задачи (Wertheimer, 1923; Вертгеймер, 1987). Гештальт-психологи проводили аналогию такой реструктуризации с внезапными переходами, которые происходят в восприятии неоднозначных фигур. Были поставлены задачи изучения принципов построения «хорошей» фигуры при возникновении зрительного инсайта. Обычно основное внимание в решении этих задач уделялось

геометрии элементов фигуры и их взаиморасположению. Это хорошо иллюстрируется на примере геометрической инсайтной задачи, которая состоит в том, чтобы посчитать сумму площадей квадрата и наложенного на него параллелограмма. Дана только длина сторон – «а» и «b». При этом вычислить площадь квадрата нетрудно (возведение в квадрат длины стороны «а»), но продвинуться дальше невозможно, пока две площади представлены в виде квадрата и параллелограмма. По Вертгеймеру, проблема может быть решена только в случае радикального переструктурирования. А именно, нужно перегруппировать элементы так, чтобы они воспринимались как два прямоугольных треугольника с равными площадями. После этого два треугольника можно выровнять, и решение станет очевидным: сумму площадей можно вычислить, перемножив длины сторон прямоугольника – «a*b» (Wertheimer, 1923).

Другая знаменитая задача, описанная во многих исследованиях инсайта (Kershaw, Ohlsson 2004; MacGregor et al. 2001; Scheerer 1963; Weisberg, Alba 1981), представлена «проблемой девяти точек», показанной на рисунке 1. Она заключается в том, чтобы соединить девять точек четырьмя прямыми линиями, не отрывая ручку от бумаги.

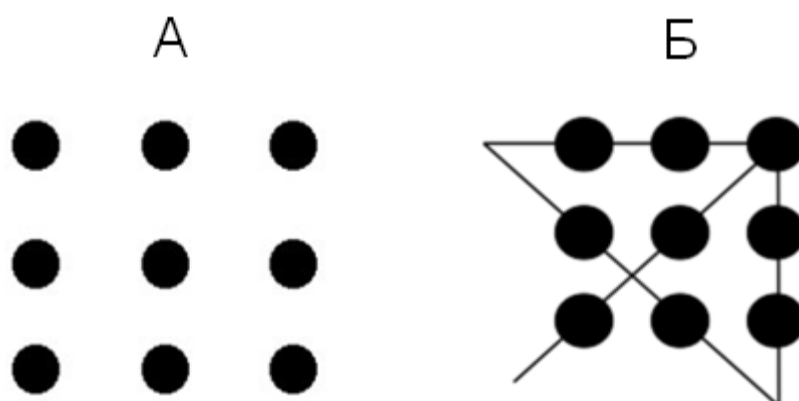


Рис. 1. Задача девяти точек (А) и пример ее решения (Б)

Классическое объяснение сложности этой задачи состоит в том, что участники тестирования изначально не рассматривают движения, выходящие за пределы виртуального квадрата из точек (Scheerer, 1963; Ohlsson, 1992).

Соответственно, необходимое условие для возникновения инсайтного решения – это новое представление о том, что линии можно продлить в пространство вне точек и виртуального квадрата (Kershaw, Ohlsson, 2004).

Феномен инсайта занимает ведущее место в теории гештальт-научения. Однако основоположники гештальт-подхода не давали объяснения механизмам возникновения такого зрительного инсайта, а лишь говорили о сложном мыслительном процессе (Kohler, 1947). В то же время в физиологии, И.П. Павлов предсказал, что эти проявления могут быть естественным результатом взаимодействия возбудительных и тормозных соотношений в головном мозге животного или человека (Павлов, 1949; 1973), который, вероятно, обеспечивается механизмом временной связи между нейронами в коре головного мозга (Бабкин, 1904). Позднее в конце XX века было показано, что это происходит в нейронной сети первичной зрительной коры и обеспечивается возбуждательными и тормозными длинными межкорковыми и короткими межмодульными «горизонтальными» связями. Анализ был проведен на основе восприятия изображений, состоящих из разрозненных фрагментов (Kovach, Julesz, 1993; Hess, Field, 1999; Olshausen, Field, 2004; Ghosh, Petkov, 2005).

Однако в течение всего XX-го века и до настоящего времени, вследствие отсутствия адекватной экспериментальной базы для изучения механизмов развития инсайта, вопросы эвристического решения задач рассматривались, в основном, психологами. При этом инсайт отождествляли со сложным, практически мгновенным, переходом неосознаваемых процессов в осознаваемые, но трудно оцениваемые психологические процессы. В последнее время психологами была предложена модель, объясняющая феномен инсайта и «вызревания решения мыслительной задачи», в период, когда человек не предпринимает попыток решить задачу. Суть ее сводится к тому, что при «вызревании решения» идет «перенастройка сознательных процессов», которые оказываются «более чувствительны к «активированным элементам» (Валуева, Ушаков, 2017).

Экспериментальную нейрофизиологическую базу для исследования механизмов инсайта оказалось возможным создать только в последние годы, благодаря информационным технологиям и появлению новых методов исследования мозга человека, в первую очередь, методов нейровизуализации.

В целом, когнитивный подход к изучению инсайта, предпринятый в последние годы отечественными и зарубежными исследователями, дал понимание когнитивных моделей решения задач путем инсайта. В частности, постулировано, что решение проблем инсайта требует особых когнитивных процессов, отличных от тех, которые задействованы при решении задач аналитическим путем. Наличие тупиковых моментов в феномене инсайтнго решения (Wallas, 2014) предполагает два когнитивных подхода к теории и изучению инсайта (Ohlsson, 1992). Первая когнитивная теория инсайта должна дать объяснение, почему человек испытывает ступор и заикливается при решении задачи, несмотря на то, он имеет предшествующий опыт. При этом большинство из инсайтных задач затрагивают весьма ограниченную область решения, которое может быть достигнуто фактически за один или два хода, и специальные знания для этого не требуются. Согласно стандартным оценкам, уровень сложности задач, решаемых путем инсайта, как правило, невысок (Newell, 1990; Newell, Simon, 1972). Тем не менее, для человека, связанные с ними, тупиковые ситуации могут длиться часами и даже более. Вторая когнитивная теория инсайта должна объяснить, каким образом происходит разрешение тупиковых ситуаций. Важными выступают вопросы: о наличии факторов, которые мешают человеку использовать свои знания в решении задачи; о том почему этот тупик не является постоянным и какие именно когнитивные механизмы позволяют человеку вырваться из подобной ситуации.

В рамках когнитивной модели инсайта были предложены два подхода к решению задач: репрезентативная, типовая теория изменения и динамическая теория ограничений. Суть репрезентативной теории изменения заключается в том, что пусковым механизмом решения служат бессознательные

(неосознаваемые) процессы изменения представления задачи (Knoblich et al., 1999; Ohlsson, 1992). Они открывают и указывают новые дополнительные шаги и варианты для решения проблемы. Сторонники этой теории выделяют важные когнитивные процессы, которые меняют формулировку задачи. Такими процессами являются перекодировка, декомпозиция и ограничение релаксации. Перекодировка (переосмысление) необходима тогда, когда элементы ситуационной задачи воспринимаются так, что препятствуют ее решению (Ohlsson, 1992). Это хорошо прослеживается в, уже упоминавшихся, геометрических задачах Вертгеймера (Вертгеймер, 1987). Пока элементы задачи сгруппированы в определенную форму (квадрата и параллелограмма), решение (подсчет суммы площади фигур) невозможно, и решающий задачу оказывается в тупике. В это время неосознаваемые процессы восприятия могут привести к иному представлению, интерпретации решаемой задачи. Например, элементы группируются в другую геометрическую форму (два треугольника с прямыми углами). Новый взгляд на проблему быстро приводит человека к простому решению (подсчету суммы площадей этих фигур).

Второй процесс репрезентативного, характерного изменения - это дефрагментация, декомпозиция (Knoblich et al., 1999). Этот тип изменений становится необходимым тогда, когда начальное представление элементов задачи в значимых семантических единицах является недостаточным для решения задачи. Причиной, почему человек впадает в тупик с невозможностью решить задачу, является необходимость разложить единое целое на составляющие. Но, как только это происходит, увидеть решение становится легко. Предполагается, что разложение целого инициирует бессознательные процессы, которые возникают как реакция на постоянные неудачные попытки добиться прогресса в преодолении тупикового состояния. Еще один процесс типовых репрезентативных изменений – это ограничение релаксации (Knoblich et al., 1999; Ohlsson, 1992). В отличие от перекодировки и декомпозиции, ограничение релаксации не влияет на

представление задачи, но меняет цель решаемой задачи. Это изменение становится необходимым, когда при первоначальной постановке задачи цель оказывается слишком узкой. Первоначальное представление цели также будет предвзятым по отношению к предварительным знаниям и опыту человека. Это можно проследить в решении задачи со спичками, когда требуется переместить одну спичку, чтобы получить правильное арифметическое утверждение. Как только человек понимает, что палочки, которые образуют арифметические знаки, могут быть перемещены, и что арифметическое выражение может содержать два равных знака, решение быстро и легко находится $III=III=III$ за счет вращения вертикальной спички, которая является частью знака «+». Но при первоначальной постановке задачи, согласно репрезентативным изменениям, будут активироваться ранее полученные арифметические знания, в том числе и ненужные ограничения, относительно того, что уравнение содержит только один знак «=». Такие необоснованные ограничения могут мешать решению задачи, приводить человека в тупик, а для преодоления ситуаций тупика нужно ослабить или снять эти ограничения.

Таким образом, репрезентативная теория изменения предполагает, что задачи инсайта - это задачи, которые имеют высокую вероятность того, что они неадекватно представлены в процессе первоначального ментального кодирования проблемы. Предполагается, что при иной формулировке задачи, в памяти автоматически всплывают предшествующие знания в решении схожих задач. Взгляд на ту же задачу с другой стороны, изменение формулировок условий задачи, позволяет «разбудить» дремлющие до этого момента знания. А «разбуженные» знания уже позволяют найти кратчайший и простейший путь к решению. В этом случае, человек будет иметь внезапное и неожиданное переживание, приводящее к решению задачи – характерный положительный эмоциональный отклик («ага-эффект»). Иными словами, согласно репрезентативной теории когнитивной модели инсайта, изначально активируется только часть знаний (с уклоном на содержание

задачи) с неявным ограничением множества возможных решений. Это множество представляет лишь часть более полного множества вариантов ответных реакций, т.е. может не включать правильные решения. Особенно, если решение конкретной задачи требует нестандартного подхода, отличного от большинства задач, ранее решаемых этим человеком. Тогда, если исходное представление задачи не включает в себя решение, то задача становится тупиковой. Основное положение репрезентативной теории изменений заключается в том, что тупиковые ситуации можно разрешить только путем смены представления о задаче.

В противоположность этому, динамическая теория ограничений предполагает, что понимание и решение происходят при отказе от использования, вводящих в заблуждение, сложившихся понятий и представлений (McGregor et al., 2001). По-видимому, эти две теории не являются взаимоисключающими. Инсайт включает в себя комплекс процессов, работающих вместе и разворачивающихся с течением времени. Экспериментальные парадигмы, которые подчеркивают развитие и переход от одного процесса к другому, лишь отражают разные части этого сложного явления.

В ранних работах по изучению инсайта для его характеристики использовали простые и эффективные показатели - время решения и вероятность нахождения решения в течение заданного временного интервала. Для проверки теорий решения задач путем инсайта анализировали показатели эффективности, совместно с анализом сложности задачи (Knoblich et al., 1999), построением различных вариантов задачи (McGregor et al., 2001) или использованием различных подсказок (Kershaw, Ohlsson, 2004; Ormerod et al., 2002). Однако эти приемы дают лишь приблизительное понимание когнитивных процессов, лежащих в основе инсайта.

Большая часть исследований в области когнитивной психологии по тематике инсайта, сделанных за последние три десятилетия, была направлена на то, чтобы выяснить взаимосвязь и различия между инсайтом и

аналитическим решением задачи (Sternberg, Davidson, 1996; Forster et al., 2004; Пономарев, 2006; Ушаков, 2011). Чтобы различить эти два типа решения проблем, обычно использовали отчеты испытуемых, напоминающих детскую игру «ощущения теплоты», которая отражает близость к еще неосознанному решению задачи (Metcalfе, Wiebe, 1987). Однако эти исследования постоянно подвергаются критике (Kounios et al., 1987; Meyer et al., 1988). Метод применения прайминга (предварительных подсказок) не позволял оценить состояние, предшествующее инсайту (Smith, Kounios, 1996). Еще в 1971 г. был обнаружен эффект влияния предыдущего контекста на скорость опознания последующих стимулов (Meyer, Schvaneveldt, 1971). Кроме того, при решении интересной проблемы люди чаще оценивали свои решения как озарение (Bowden, 1997; Bowden, Jung-Beeman, 2003b). Таким инсайтным решениям предшествует существенная бессознательная обработка массива данных, а не спонтанное генерирование ответа. Именно поэтому начальные работы Торндайка и Скиннера рассматриваются лишь как отдаленная модель инсайта. Когда испытуемые решают проблему, количество семантического прайминга для слов решения (индекс бессознательной обработки) напрямую связан с тем, как они воспринимают свое решение.

В большинстве исследований инсайта, при сравнении эффективности решения задач инсайтом с эффективностью решения задач аналитическим путем, выделяются различия, основанные, главным образом, на интуиции исследователей. Чтобы исследовать инсайт на более объективной эмпирической основе, Боуден разработал процедуру опроса испытуемых о характере решения и способе его достижения - путем анализа или путем озарения (Bowden, 1997). Однако на процессы решения задач влияет множество факторов (Jung-Beeman et al., 2004; Kounios et al., 2006; Subramaniam et al., 2009; Bowden et al., 2005, Kounios, Beeman, 2009; Bowden, Jung-Beeman, 2003a), что усложняет эту методику. Так, показано, что на познавательные способности, связанные с инсайтом, оказывает влияние

позитивное настроение. Оно усиливает инсайт независимо от того, каким образом формируются. Это может быть результат внутреннего настроения или воздействия внешних факторов (просмотр забавных клипов, дружеский разговор, хорошие воспоминания и т.д.) или снижением уровня беспокойства (Ashby et al., 1999; Isen et al., 1987; Amabile et al., 2005; Subramaniam et al., 2009). Позитивный настрой и облегчает инсайт и усиливает его. Это указывает на глубокое взаимодействие когнитивных и аффективных процессов (Bar, 2009; Brunye et al., 2013). Позитивное настроение способствует интуиции и улучшает способность принимать решения, а также формировать суждения о стимулах без сознательного доступа к информации. Считается также, что настроение влияет на вероятность возникновения инсайта через модуляцию внимания и когнитивного контроля, которые, в свою очередь, модулируют семантическую обработку. Было показано, что положительное настроение усиливает рассеянное внимание. Это улучшает восприятие и использование глобальных и периферических перцептивных особенностей за счет локальных деталей сложных раздражителей, пространственно расширяя «внимание» внимания (Gasper, Clore, 2002; Rowe et al., 2007). Беспокойство, наоборот, сужает сферу внимания, вызывая чрезмерное сосредоточение на центре поля зрения, включающее источник угрозы. При этом отключается внимание для периферической информации (Easterbrook, 1959). Считают, что позитивное настроение выборочно активизирует семантическую обработку в правом полушарии. Однако доказательств подтверждения этой гипотезы до настоящего времени нет, а исследования нейровизуализации инсайта и настроения не обнаружили признаков латеральных различий в активности мозга, которые приписывают настроению (Subramaniam et al., 2009).

Ранее во многих работах объективной мерой инсайта выступала скорость решения проблемы. При этом предполагалось, что быстрые решения достигаются с помощью озарения, а медленные решения - аналитическим путем. Это предположение представляется сомнительным,

поскольку смешивает исследования по изучению инсайта с продолжительностью усилий по решению задачи. Главное в феномене инсайта - это способ, а не скорость решения задачи. Решение задачи путем инсайта развивается мгновенно и внезапно, однако путь к этому моменту в дебрях подсознания («инкубация в мышлении») может быть весьма долгим (Валуева, Ушаков, 2017). В то же время аналитическое решение задачи может происходить как медленно, так и быстро. При этом при аналитическом решении, происходящем под контролем сознания, можно точно определить момент возникновения задачи и длительность ее решения (Bowden et al., 2005; van Steenburgh et al., 2012).

1.3. Нейрофизиологические характеристики инсайта

Основой нашего исследования выступают эмпирически обоснованные традиции физиологии сенсорных систем с мощным аппаратом количественных измерений порогов и изучения закономерностей работы нейронных сетей, а также представления о функциональных взаимосвязях различных центров головного мозга, играющих ключевую роль в обеспечении сложных когнитивных процессов. Рассмотрим их в контексте изучения нейрофизиологических механизмов инсайта.

Современные нейрофизиологические исследования инсайта выявили роль передней поясной извилины в его когнитивном контроле (Kerns et al., 2004; Weissman et al., 2005). Другой областью мозга, связанной с когнитивным контролем инсайта, является префронтальная кора (Miller, Cohen, 2001). Модуляция степени «озарения» из-за изменений в активности передней поясной коры должна быть опосредована, по крайней мере, частично, сигналами управления, возникающими в префронтальной коре. Они ограничивают диапазон возможностей, которыми человек располагает при работе над преодолением проблемы. Считается, что эта ограничивающая функция является полезной, так как предотвращает «вычислительную перегрузку», фокусирует человека на небольшом числе наиболее жизнеспособных путей решения.

Важнейшей темой в исследованиях инсайта является изучение роли, внимания. В поведенческих исследованиях показано, что у творческих людей преобладает диффузное внимание, однако электрофизиологические исследования инсайта и методы нейровизуализации свидетельствуют, что внимание играет более тонкую роль. Полагают, что во время подготовительной фазы решения задачи, нейронная активность головного мозга может обеспечивать фокусирование внимания на внешних объектах («наружу»), или на внутренних знаниях в памяти («внутри») (Chun et al., 2011). Это фокусирование внимания, по-видимому, влияет на вероятность того, как человек будет решать стоящую задачу - путем инсайта или используя аналитическое мышление (Kounios et al., 2006; Wegbreit et al., 2012).

Когда испытуемые готовятся к решению проблемы, обнаружить, какие процессы происходят до начала решения, на этапе подготовки до выбора стратегии решения задачи, можно, оценивая нейронную активность мозга как с помощью методов ЭЭГ, так и методами фМРТ. Показаны различные закономерности нейронной активности, которые предшествуют решению задачи путем озарения или путем анализа (Kounios et al., 2006).

Было установлено, что подготовка к аналитическому решению (по результатам ЭЭГ анализа) сопровождается увеличением нейронной активности в зрительной коре, то есть снижением активности в альфа-диапазоне. Регистрируемая активность затылочной области альфа-диапазона ЭЭГ отражает процессы покоя в зрительной коре, которые защищают процессы внутренней обработки от потенциально мешающих или отвлекающих восприятие входов (Ray, Cole, 1985). Считается, что это снижение активности в альфа-диапазоне, свидетельствует о внешней направленности внимания на экран компьютерного монитора, на котором впоследствии должна появиться предлагаемая задача. Из данных, касающихся уровня альфа-ритма, следует, что при инсайтном решении и в период подготовки к инсайту большое значение придается именно вниманию

(Kounios et al., 2006). По данным Куниоса, уровни альфа-ритма в затылочной области во время разных фаз, ведущих к решению задачи, показывают, что в состоянии покоя, у «инсайтных» людей мозговые процессы более ориентированы на внешнее внимание, чем у «аналитических» испытуемых (Kounios et al., 2008).

Как методами ЭЭГ, так и фМРТ, показано, что подготовка к инсайту включает в себя активацию передней поясной извилины. Активация передней поясной извилины оказывает избирательное тормозное влияние на другие области головного мозга (Botvinick et al., 2004; Kounios et al., 2006). Ее даже рассматривали как интерфейс между эмоциями и познанием (Lane et al., 1998; Bush et al., 2000; Allman et al., 2001). Предполагают, что переходное состояние фокуса внимания, помогает определить диапазон возможных решений, которые человек готов рассмотреть в случае возникновения проблемы. Ориентированное внутрь направленное внимание и высокая активность передней поясной извилины повышают чувствительность к слабо активированным, далеким ассоциациям, что способствует появлению у человека неожиданных интересных идей и новых решений.

Также методами ЭЭГ и фМРТ показано, что подготовка к инсайту включает в себя активацию двусторонних областей височной коры (Botvinick et al., 2004; Kounios et al., 2006). В момент инсайта наблюдается всплеск высокочастотной активности (гамма-полосы) ЭЭГ над правой височной долей. Результаты фМРТ подтверждают изменение кровотока в медиальной правой передней височной извилине. Обычно полагают, что активация височной коры головного мозга, задействована в лексической и семантической обработке.

Однако представления о том, что инсайт связан с рассеянным вниманием, в последнее время подвергаются сомнению. Проницательные люди, как правило, могут иметь более размытое внимание, но успешное решение задачи предполагает временное перенаправление внимания (переключение) во время подготовки и при решении задачи. Полагают, что в

случаях, когда в момент постановки задачи активизируется передняя поясная извилина (Cingulate), может происходить слабая активация неявных (недоминирующих) и нетривиальных решений, что позволяет привлечь к ним внимание. Эти процессы соответствуют способу осознания по типу инсайта. И, наоборот, когда передняя поясная извилина относительно дезактивирована перед поиском решения, то в области внимания преобладают более очевидные ассоциации, и возможность выполнения задачи связывается с аналитическим способом решения.

Представляет интерес и вопрос о том, можно ли обнаружить какие-либо особенности реакций мозга, которые определяли бы предрасположенность человека к решению задач тем или иным способом - путем инсайта или анализа. Один из подходов в решении этого вопроса состоит в том, чтобы выяснить, какие различия в активности головного мозга наблюдаются у людей в состоянии покоя.

Такие исследования были выполнены с регистрацией ЭЭГ (Kounios et al., 2008). Участники исследования были классифицированы на две группы: с высоким и низким уровнем инсайта (по доле решения инсайтных задач). В этих группах обнаружены различия в ЭЭГ в состоянии покоя. Было высказано предположение, что эти различия связаны с особенностями паттернов нейронной активности при покое у людей с высоким и низким уровнем инсайта. Обнаруженные расхождения выявили два общих явления.

Во-первых, было показано, что инсайтные люди проявляют большую активность правого полушария в состоянии покоя, по сравнению с аналитическими индивидуумами.

Во-вторых, тот факт, что разница в активации полушарий, связанная с озарением, может быть найдена в состоянии покоя, предполагает, что функциональная асимметрия мозга, возникающая во время решения задач, может быть следствием структурных различий в полушариях головного мозга, таких как цитоархитектоника, асимметрия структурных или функциональных связей (Jung-Beeman et al., 2004; Jung-Beeman, 2005).

Исследования других авторов, выполненные на других моделях инсайта, также указывают на доминирование правого полушария в обеспечении эффекта инсайта (Kounios, Veeman, 2014). Межполушарная асимметрия была выявлена еще в первых работах по изучению нейрональной основы инсайта. Было показано, что правое полушарие способствует более обобщенному описанию объектов, пониманию проблем, а потому может участвовать в решении задач путем инсайта. Левое полушарие, в отличие от правого, в большей степени способствует аналитическому решению поставленных задач. Эта гипотеза повлияла и на экспериментальные подходы. Например, в некоторых работах использовали визуально латеральный зонд слова для обнаружения и сравнения семантической обработки в полушариях. В ходе исследований, при которых участники не могли решить задачу в заданных рамках ограничения времени, было показано, что семантическое праймирование (подсказывание) тестовых слов, сокращает время решения и правильное решение достигается быстрее, чем без подсказки. Важно отметить, что это было особенно выражено, когда тестовые слова для решения представляли в левом визуальном поле зрения, и таким образом, сначала активировали правое полушарие (Veeman, Bowden, 2000; Bowden, Veeman, 1998). Кроме того, усиленное праймирование в правом полушарии происходило только тогда, когда участники сообщали, что они распознали в опыте тестовое слово с чувством озарения (Bowden, Jung-Veeman, 2003b).

Считается, что передняя височная кора и нейроны правого полушария вовлечены в процессы инсайта больше, чем нейронные сети левого полушария (Jacob et al., 1993, Scheibel et al., 1985, Seldon, 1981). Инсайтные люди также показали большую диффузную активацию зрительной коры по сравнению с аналитическими индивидуумами, даже тогда, когда ЭЭГ измеряли в состоянии покоя и глаза участников были закрыты (Kounios et al., 2008). Эти факты подтверждают данные более ранних исследований поведения о том, что у творческих личностей превалирует рассеянное

внимание (Ansburg, Hill, 2003; Carson et al., 2003). При этом ЭЭГ в состоянии покоя относительно стабильна, хотя и может быть изменена стимуляцией. Кроме того, при проведении генетических исследований получены данные, которые показывают, что индивидуальные различия в ЭЭГ в состоянии покоя, имеют существенную генетическую базу и, в значительной степени обусловлены индивидуальными различиями в свойствах серого и белого вещества мозга (Smit et al., 2012).

Исследования активности головного мозга, связанные с инсайтом, можно также связать с последними социально-психологическими исследованиями. Согласно теории строгих уровней, «психологическое расстояние» (размышление о вещах, находящихся далеко в пространстве или времени, или о людях, которые отличны от конкретного человека) включает абстрактное мышление (Trope, Liberman, 2010). Основываясь на этой идее, Форстер с коллегами предсказал, что ориентация испытуемых думать об отдаленном будущем будет побуждать их мыслить абстрактно и творчески, что, в свою очередь, повысит вероятность проявления озарения. Наоборот, направленность на размышления о ближайшем будущем, будет провоцировать испытуемых «мыслить конкретно», а соответственно, больше размышлять и искать решение аналитически (Forster et al., 2004). В своих исследованиях авторы подтвердили эти прогнозы: участники, инструктированные думать об отдаленном будущем, впоследствии лучше решали задачи путем инсайта; участники, которых просили подумать о ближайшем будущем, лучше решали задачи аналитическим путем. Эти результаты представляют интерес для нейрофизиологических исследований инсайта, поскольку они показывают, что характер когнитивного задания может влиять на начальный уровень активности мозга, в частности, временно изменять активность покоя, связанную с дальнейшей деятельностью мозговых структур при решении тестовых задач.

Потенциально плодотворной линией исследований может быть изучение переходных изменений мозговой деятельности в состоянии покоя и

того, как различные типы активности мозга в состоянии покоя могут влиять на выбор способа решения проблем - озарение или аналитический подход.

Помимо важности развития теоретических моделей принятия решения, понимание факторов, способных увеличить или уменьшить вероятность возникновения инсайта, имеет также большое практическое значение. Оно открывает возможность реализации стратегии вызова инсайта вне лабораторных условий. Для этого рассматриваются взаимосвязи факторов настроения, внимания и когнитивного контроля. Как уже отмечалось, позитивное настроение, вне зависимости от способа его достижения, усиливает инсайт, а также другие формы творчества (Isen et al., 1987; Ashby et al., 1999). Упрощение вызова инсайта позитивным настроением продемонстрировано в рабочей обстановке (Amabile et al., 2005). Позитивное настроение способствует развитию интуиции, способности принимать решения и суждения при отсутствии сознательного доступа к информации. Эти тенденции усиливаются, когда люди вспоминают счастливые моменты своей жизни, и, наоборот, затухают при напоминании о печальных автобиографических событиях (Volte et al., 2003).

В последнее время утверждается также, что связь между широкими ассоциациями и положительным настроением двунаправлена. Это означает, что можно стимулировать позитивное настроение, побуждая участников к выделению слабых ассоциаций (Bar, 2009; Brunye et al., 2013). А положительный настрой облегчает понимание этих ассоциаций и усиливает их. Результаты отражают глубокую интеграцию когнитивных и аффективных процессов, что относится ко многим видам повседневного поведения. Считается, что настроение влияет на вероятность возникновения инсайта путем модуляции внимания или когнитивного контроля, который, в свою очередь, модулирует семантическую обработку. Показано, что беспокойство вызывает сужение области внимания, чрезмерную концентрацию на центр поля зрения, ухудшение восприятия периферической информации (Easterbrook, 1959). Позитивное настроение, наоборот, расширяет и

усиливает рассеянное внимание (Gasper, Clore, 2002). Например, в задаче, когда испытуемые реагируют на централизованный стимул и игнорируют другие стимулы, которые фланкируют цель, положительное настроение увеличивает как облегчение, так и вмешательство в обработку цели информации, относящейся к фланкирующим стимулам (Rowe et al., 2007). По-видимому, позитивное настроение позволяет расширять область восприятия и оценки новых и разнообразных стимулов, стимулируя исследовательское поведение (Fredrickson, Branigan, 2005).

По мнению исследователей, настроение влияет на баланс между двумя мозговыми структурами: сетью внимания, которая регулирует «сверху вниз» контроль восприятия при обнаружении и распознавании цели (внутренний выбор цели), и нейронной сетью, действующей «снизу вверх» (внимание, определяемое воздействующим внешним стимулом). Показано, что тревога сдвигает баланс от нисходящей системы к восходящей (Derakshan, Eysenck, 2009), повышая чувствительность к угрожающим стимулам (Bar-Haim et al., 2007), и фокус внимания от внутренних мотивов и решения актуальных задач к внешним воздействиям. Положительное воздействие оказывает противоположное влияние, что связывает положительное настроение с внутренним вниманием. Эти взаимосвязи помогают понять роль подобных факторов в подготовке инсайта (Kounios et al., 2006; Subramaniam et al., 2009). Поэтому осуществление контроля за вниманием рассматривалось в качестве одно из условий экспериментального исследования инсайта.

Важным является и вопрос о роли отдаленных (слабых) ассоциаций, то, что называется концептуальным вниманием (Rowe et al., 2007). Здесь позитивное настроение также расширяет область внимания. Это касается захвата далеких ассоциаций и подключения к ним (Rowe et al., 2007). Считают, что перцептивное и концептуальное внимание тесно связаны между собой и механизмы внимания должны охватывать оба явления.

Управление вниманием должно строиться, как и все процессы в нервной системе, на оппонентной основе. Оппонентная модель внимания

характеризует нейронные взаимодействия и, вероятно, должна учитывать конкуренцию между описаниями стимулов в зрительной системе (Desimone, 1998). И это не «конкурс равных возможностей», так как воздействие конкретного стимула поддерживается с помощью множества факторов, включая процессы внешнего воздействия («снизу вверх») и управления вниманием («сверху вниз»). Сдвиг акцентов сопровождается увеличением нейронной активности в одном из элементов оппонентной системы. Оппонентный механизм составляет основу и нейрональных процессов, обеспечивающих принятие решений. Важную роль при этом играют ассоциации, которые сигнал активирует в памяти человека, причем доминантные ассоциации активируются сильнее. По существу, все сводится к выработке временной связи по Б.П. Бабкину и И.П. Павлову и реализуется согласно постулатам Дональда Хебба.

Механизмы, обеспечивающие ассоциации, конкурируют за каналы и ресурсы обработки информации. В обычных условиях доминирующие ассоциации выигрывают конкуренцию за принятие решение. Однако механизмы «сверху вниз» могут смещать этот баланс в сторону слабых ассоциаций, активно выбирая недоминирующие представления; расширяя сферу внимания, чтобы усилить активацию недоминирующих представлений; или, просто, не подавлять их, когда доминирующие ассоциации захватывают центр внимания. В условиях, когда доминирующие ассоциации предельно активированы, расширение сферы внимания помогает слабым ассоциациям больше влиять на принятие решения. Широта поля внимания дает слабым ассоциациям возможность привлечь внимание и обеспечить новое понимание ситуации и толчок к неожиданному решению.

Процессы «снизу» также могут смещать баланс конкуренции между сигналами. Слабые, но информативно значимые сигналы окружающей среды, связанные с решением, могут вмешиваться в обработку информации и определять сдвиг принятия решения в сторону слабой ассоциации, действуя как подсказка, которая вызывает изменение понимания (Bowden, 1997, Seifert

et al., 1995). Особенно важна возможность оптимально смещать баланс сил в «точке бифуркации», когда решения принимается в условиях неопределенности.

Когнитивный контроль обеспечивает способность сосредотачиваться, поддерживать или переключать внимание, когда необходимо его более гибкое распределение между различными процессами, ассоциациями или целями. Эти две функции - защита задачи и переключение задач находятся, по-видимому, в оппонентной взаимосвязи. Гибкое переключение требует снятия защиты выполнения задачи или достижения цели. При этом облегчается переключение – переход от задачи к задаче, но повышается и отвлекаемость (Dreisbach, Goschke, 2004; Dreisbach, 2012).

Подготовка к инсайту, как отмечалось, предполагает повышенную активность в передней поясной извилине в течение периода, предшествующего проблеме (Kounios et al., 2006). Однако передняя поясная извилина активируется перед решением любой задачи и часто тем сильнее, чем задача проще (Хараузов и др., 2014). Активация переднего зубчатого венца является признаком того, что «решатели проблем» сенсibilизированы к конкурирующим, недоминирующим ассоциациям, на которые они могут переключаться, что, в свою очередь, приводит к инсайту.

Передняя часть поясной извилины уже давно признана важнейшим компонентом сети когнитивного контроля, а не только частью сети «покоя». Эта область мозга контролирует взаимодействие нейронных сетей при конкурирующих действиях или оценках совершаемых действий (Kerns et al., 2004; Weissman et al., 2005; Шелепин и др., 2002; 2009; 2017). Исторически ее считают «посредником» между эмоциональной и когнитивной оценкой (Mayberg et al., 1999; Allman et al., 2001; Bush et al., 2000; Lane et al., 1998).

Другая область мозга, связанная с когнитивным контролем и влиянием на озарение - префронтальная кора. Имеющиеся данные подтверждают положение, что префронтальная кора осуществляет контроль над другими областями мозга в ответ на вход от передней части поясной извилины,

сигнализирующий о наличии когнитивного конфликта (Miller, Cohen, 2001). Поэтому если предполагать, что озарение определяется активностью в передней части поясной извилины, оно должно быть опосредовано сигналами управления, возникающими в префронтальной коре, которые ограничивают диапазон возможностей человека при работе над проблемой. Это обеспечивает баланс работы оппонентных систем принятия решения. Ограничения путей решения необходимы, чтобы избежать «мыслительной перегрузки». Однако это может быть и помехой, когда человек сталкивается с проблемой, решение которой предполагает неочевидные пути преодоления. Например установлено, что пациенты с повреждением латеральной префронтальной коры способны лучше решать задачу с перемещением спички, чем здоровые испытуемые (Reverberi et al., 2005).

В настоящее время наиболее полный психологический анализ развития инсайта представлен в работах Валуевой и Ушакова (Валуева, 2015; Valueva, Lapteva, Ushakov, 2016; Валуева, Ушаков, 2017). В соответствии с их концепцией, в момент инсайта происходит переход неосознаваемого подготовительного этапа обработки информации к осознанию готовности решения. Это рассматривается как «сигнал» неосознаваемым процессам о наличии решения, из-за чего их концепция получила название «сигнальной».

Эмпирический подход, реализуемый в нашей работе, близок к этим теоретическим построениям. В то же время он опирается на методологическую основу физиологии сенсорных систем, где одним из важнейших элементов выступают пороговые модели. Поэтому представляется обоснованным выбор отождествления перехода от неосознаваемых компонентов к осознаваемым процессам мышления в контексте инсайта с пороговыми процессами восприятия (Шеленин и др., 2015).

В то же время, в обоих подходах ключевым является наличие 3-х стадий развития процесса: 1) предобработка информации на неосознаваемом уровне; 2) принятие решения в момент достижения порога (достижения

инсайта), сопровождающееся осознанием и выраженной эмоциональной реакцией; 3) послеинсайтное состояние.

Данный подход, базирующийся на обзоре традиционных представлений гештальт-психологии, результатов психологических и физиологических исследований, определил основное направление дальнейшей работы и ее основные задачи, связанные с разработкой метода, позволяющего моделировать все стадии инсайта, и с проведением исследования нейрофизиологических механизмов и нейронных сетей головного мозга человека, участвующих в подготовке и развитии этого важнейшего когнитивного процесса.

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ И ДИЗАЙН ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Характеристики и набор выборки исследования

Проведенное исследование состояло из двух этапов, которые будут подробно описаны во втором разделе данной главы. Первый этап касался изучения возникновения инсайта в рамках модели порога распознавания формы объекта. Второй - исследования состояния нейронной сети в момент возникновения инсайта.

На первом этапе в исследовании приняли участие 45 взрослых добровольцев обоего пола с остротой зрения не менее 1. Все они были праворукими, не имели неврологических патологий, находились в здоровом физическом и психическом состоянии и проживали в г. Санкт-Петербурге. Общая характеристика группы дана в таблице 1.

Таблица 1. Общая характеристика участников исследования (первый этап)

Пол	Количество	Средний возраст
Мужской пол	18 (40%)	24,5
Женский пол	27 (60%)	24,5

На втором этапе исследования в экспериментах участвовали 29 взрослых добровольцев обоего пола с остротой зрения не менее 1, праворуких, без неврологических патологий, находящихся в здоровом физическом и психическом состоянии, проживающие в г. Санкт-Петербурге. Данные этой группы испытуемых приведены в таблице 2.

Таблица 2. Общая характеристика участников исследования (второй этап)

Пол	Количество	Средний возраст
Мужской пол	11 (38%)	24,5
Женский пол	18 (62%)	24,5

Критерии отбора участников для первого и второго этапов исследования:

- отсутствие истории неврологических и психических заболеваний;
- удовлетворительное соматическое состояние;
- отсутствие металлических элементов в теле (зубные протезы, пирсинг, штифты и т.д.), из-за специфики ф МРТ исследования

Набор участников осуществлялся посредством размещения объявлений о приглашении в исследование на различных факультетах СПбГУ, а также в сети Интернет. Отбор осуществлялся по результатам предварительного интервью (скрининга) до начала процедуры информированного согласия.

Перед началом экспериментов испытуемые были ознакомлены с планом исследования и его процедурами, а также подписывали формы информированного согласия (Приложение №2), которые вместе с протоколом исследования рассмотрены и одобрены Этическим Комитетом Санкт-Петербургского государственного университета, имеющим международную аккредитацию для рассмотрения поведенческих и социальных исследований с участием людей (Протокол № 02-124, от 12.06.2017). В ходе интервью исследователь давал необходимые пояснения, отвечал на все вопросы и получал подписанный экземпляр информированного согласия. Второй подписанный оригинал информированного согласия предоставлялся участнику. Для проверки того, что участник понял его содержание, исследователь просил его вспомнить основные положения документа. Испытуемым объясняли, что их участие является добровольным и материальная компенсация за участие в эксперименте не предусмотрена. После проведения измерений, индивидуальные данные и материалы фМРТ исследования (снимки) предоставлялись каждому из участников экспериментов. Кроме того, все снимки участников оценивались специалистом с точки зрения выявления возможных отклонений и направления на медицинские консультации.

2.2. Методы исследования

В соответствии с целью, задачами и предметом исследования, был отобран комплекс объективных и субъективных методов измерений, в который вошли как психофизиологические, так и психологические методы исследования, а также методы нейровизуализации.

Психофизиологическими методами определялся порог распознавания неполных контурных изображений (психофизические эксперименты), проводился объективный контроль за вниманием испытуемого во время прохождения исследования (видеоокулография). Психологическим методом (методом интроспекции) регистрировалась эмоциональная составляющая моторного ответа испытуемых при решении задачи распознавания. Посредством метода нейровизуализации определяли области активации головного мозга в период предшествующий инсайту, в момент инсайта и после инсайта.

2.2.1. Психофизиологические методы

2.2.1.1. Голлин-тест

На основании предлагаемой в работе модели инсайта как порогового распознавания в условиях неопределенности, в качестве метода моделирования и изучения инсайта был выбран Голлин-тест, в рамках которого проводится измерение порогов опознавания неполных фрагментированных изображений (Foreman, Hemmings, 1987). Он был разработан Е. Голлином в 1960 году (Gollin, 1960) и широко использовался в клинических исследованиях нарушений памяти.

Метод измерения порогов распознавания изображений в Голлин-тесте, заключается в следующем. Контурные изображения хорошо знакомых испытуемому объектов разбиваются на небольшие фрагменты, которые последовательно предъявляются, постепенно формируя полный контур объекта. В основе проводимых измерений лежит общеизвестный метод психофизических пороговых измерений – метод пределов. При определении порогов распознавания методом пределов фрагменты изображения

предъявляют в сериях с инкрементным шагом; с каждым последующим шагом увеличивая полноту представления контура.

Постепенное нарастание числа фрагментов, инструкция быстрее опознать объект и потенциальное знание алфавита стимулов, создают условия «погружения» в задачу и развития инсайта. Первоначально тест выполняли с помощью пошагового предъявления изготовленного вручную или полиграфическим методом набора карточек, где каждая последующая карточка содержала большее число элементов контура, отображающего определенную фигуру. В процессе исследования фиксировалась длина контура (в %), при которой наблюдатель правильно идентифицировал фигуру. Однако в полиграфической версии с грубым шагом изменений (порядка 10%) процедура исключала точное измерение порога распознавания.

В рамках выполнения первого этапа исследования и моделирования ситуации возникновения инсайта, проводилось измерение порогов распознавания неполных контурных фигур с использованием компьютеризированной версии Голлин-теста, которая обеспечивает постепенное нарастание контура объекта из случайно возникающих фрагментов с регулируемым шагом. Современная компьютеризированная версия Голлин-теста была предложена Н. Фореманом (Foreman, Hemmings, 1987) и затем модернизирована научным сотрудником лаборатории физиологии зрения Института физиологии им. И.П. Павлова РАН С.В. Прониным (Gollin Test 2.0). Этапы построения фрагментированных тестовых изображений в Голлин-тесте показаны на рисунке 2.

Испытуемому даётся инструкция, как можно скорее распознать объект и подать сигнал, когда он узнает, что изображено на экране. При правильном распознавании объекта, программа фиксирует пороговую суммарную площадь предъявленных фрагментов - в % от полной площади контура. Подача сигнала ответа осуществляется посредством компьютерного устройства ввода данных – нажатием на клавишу «мыши». При подаче

моторного сигнала постепенное нарастание контура прекращается – объект предъявляется испытуемому полностью. Перед тестированием алфавит контурных фигур испытуемому не демонстрируется.

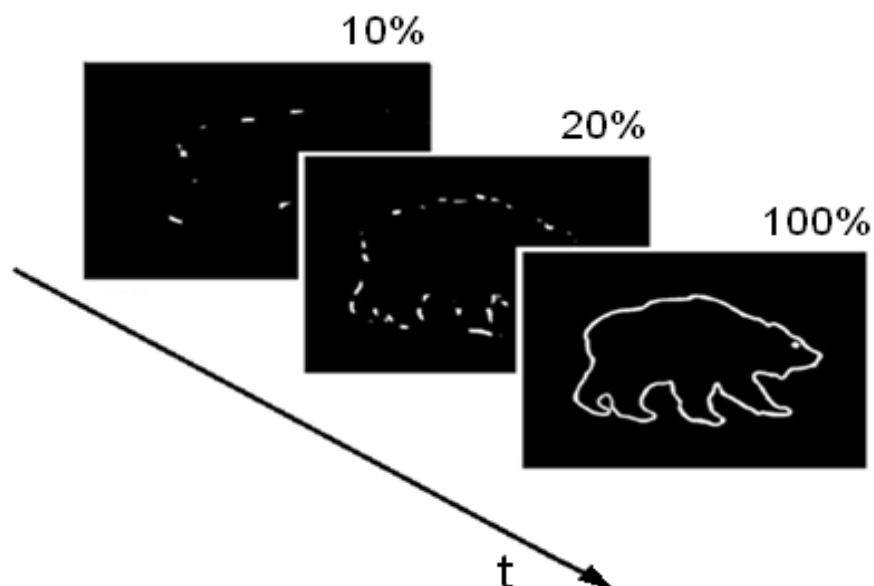


Рис. 2. Принцип формирования контурных фигур в Голлин-тесте. Представлены кадры последовательного накопления полноты представления изображения: 10, 20 и 100% заполнения контура.

Экспериментальная установка для проведения компьютеризированной версии Голлин-теста показана на рисунке 3.



Рис. 3. Экспериментальная установка для компьютеризированной версии Голлин-теста.

Установка состоит из компьютера для демонстрации изображений и обработки полученных данных, монитора диагональю 22'', устройства подачи ответного сигнала – мышки и устройства объективного контроля внимания испытуемого – айтрекера (видеоокулографа).

Алфавит предъявляемых стимулов был разработан и стандартизирован в лаборатории информационных технологий Института физиологии им. И.П. Павлова РАН Чихманом В.Н. Полный набор алфавита использованных стимулов представлен на рисунке 4. Сбор, обработка и анализ данных проводились на базе Института физиологии им. И.П.Павлова РАН.

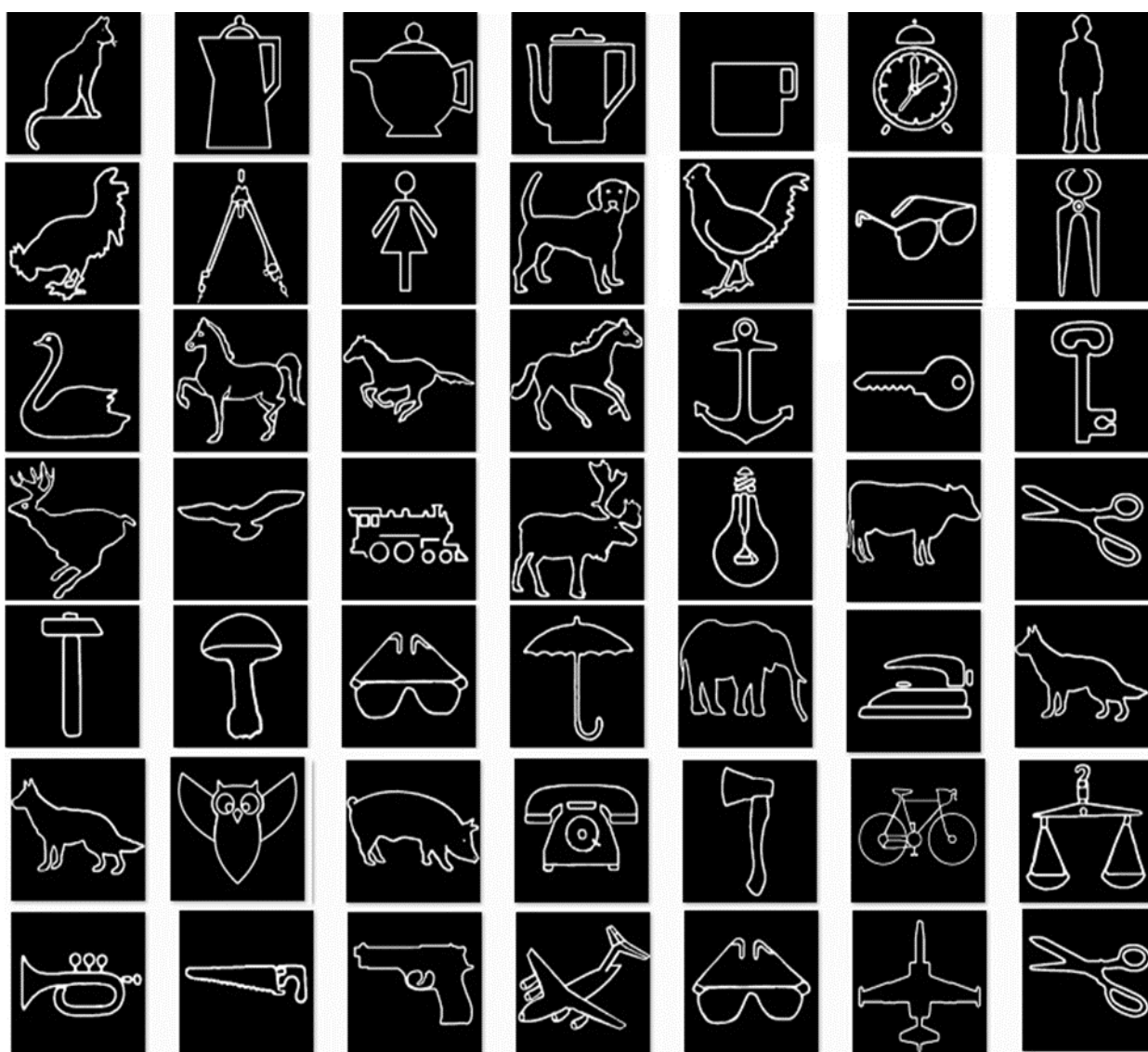


Рис. 4. Алфавит предъявляемых стимулов (полный набор).

2.2.1.2 Видеоокулография

С целью объективного контроля направления взгляда и внимания испытуемых в ходе распознавания фигур Голлин-теста проводилась видеоокулография (айтрекинг исследование). Айтрекинг позволяет определять координаты зора и реализуется посредством использования специального устройства - видеоокулографа (айтрекера), состоящего из инфракрасной видеокамеры, инфракрасных осветителей, контроллера и программного обеспечения. Принцип регистрации основан на методе темного зрачка. Данный метод заключается в контрасте между зрачком и радужной оболочкой. Контраст возникает благодаря инфракрасной подсветке глаза во время регистрации видеокамерой движений глаз. Программным способом осуществляется анализ положения блика и рассчитывается ориентация оптической оси глаза. Источники инфракрасной подсветки сдвинуты относительно оптической оси видеокамеры и, за счет этого технического решения, вторичное отражение от сетчатки не поступает в объектив камеры, и зрачок остается наиболее темным.

В нашем исследовании использовался айтрекер (видеоокулограф) GP3, производства компании Gazepoint Inc. (Канада), с частотой дискретизации 60 Гц, длина волны 950 нм (рисунок 5).



Рис. 5. Айтрекер (видеоокулограф) GP3 (Gazepoint Inc., Канада)

Программное обеспечение данного прибора позволяет проводить анализ, как статических изображений, так и динамических видеороликов, вебсайтов, записи с экрана. Полученные данные для наглядности результатов возможно визуализировать посредством так называемых «тепловых карт» и «карт туманности», а также карты перемещений зора и точек его фиксации. В случае необходимости, можно проводить одновременную запись данных

вебкамеры и аудиосигнала. В экспериментальных стимулах можно было задавать динамические зоны интереса (AOIs), накапливать статистическую информацию по этим зонам, осуществлять выгрузку общей статистики (по зонам интереса, по пользователям) в CSV для дальнейшего анализа.

Точность регистрации составляла $0.5^\circ - 1^\circ$, а область свободного перемещения головы во время калибровки по горизонтали 25 см; по вертикали - 11 см; вперед/назад - 15 см. Испытуемому отдельная инструкция по айтрекингу не предоставлялась.

2.2.2. Психологический метод - самооценка эмоционального состояния

Эмоциональные состояния как психические феномены – это временная динамическая характеристика психики человека. Их диагностика затрудняется многоуровневостью самого феномена психических состояний, большим числом и разнообразием условий, оказывающих влияние на протекание и показатели психических состояний (Прохоров, 2004). Рассматривая состояния как сложную системную реакцию человека на ситуацию или воздействие, можно применять различные методы их оценки. Традиционно выделяют три группы методов: физиологические, поведенческие и субъективные (Леонова, 1984). При изучении различных психологических, в первую очередь, функциональных состояний (устомление, тревога, депрессия и т.д.) часто используют объективные (психофизиологические) методики, позволяющие выявить физиологические или моторные проявления психических состояний.

К физиологическим методам оценки психических состояний относятся методы фиксации параметров работы центральной нервной системы и вегетативных сдвигов (электроэнцефалография, электромиография, кожно-гальванические реакции, электрокардиография, тонус сосудов, величина диаметра зрачков и т.д.). Несмотря на высокий уровень точности измеряемых параметров, существуют серьезные трудности при их применении для

диагностики психических состояний. В частности, из-за проявления рассогласований между физиологическим и эмоциональным реагированием, а также субъективными оценками испытуемого.

Поведенческие методы чаще всего представляют собой моделирование конкретных психических состояний в лабораторных условиях (например, функциональные пробы для диагностики утомления) или регистрацию состояний в реальных ситуациях жизнедеятельности.

Субъективные (интроспективные) методы включают опросы, анкетирование, самооценку испытуемых с анализом своих переживаний и динамики состояний. Метод интроспекции базируется на рефлексивной природе человеческой психики, т.е. способности человека наблюдать за проявлениями собственных психических состояний и явлений сознания. Интроспекция есть «всматривание» во внутренние процессы и явления сознания и психических переживаний. Также, как и внешнее восприятие, внутреннее восприятие происходит с помощью логических процессов - различения, анализа, абстрагирования, синтеза, обобщения.

В соответствии с объектом и предметом данного исследования в качестве инструмента оценки эмоционального компонента инсайта (его специфического маркера) была выбрана методика самооценки. Она основана на психодиагностическом методе интроспекции (самонаблюдение), т.е. получения информации от самого испытуемого о наличии или отсутствии у него в момент осознания решения сильной эмоциональной реакции. В контексте работы возможность идентификации выраженной эмоциональной реакции в момент инсайтного решения - одной из основных характеристик неаналитического решения задачи, представлялась более важной, чем регистрация физиологического отклика, который мог и не сопровождаться осознаваемым эмоциональным реагированием.

Инструкция для испытуемого, кроме задачи скорейшего распознавания объекта, включала необходимость предоставить самоотчет относительно эмоциональной реакции во время узнавания фигуры, после ответа и

завершения предъявления стимулов. Самоотчет заключался в указании на наличие или отсутствие эмоциональной реакции в протоколе на бумажном носителе.

2.2.3. Метод нейровизуализации – фМРТ

Для измерения состояния мозга и исследования нейронных сетей использовали метод фМРТ, который в последнее время широко применяется для изучения нейрофизиологических коррелятов сенсорных, когнитивных и эмоциональных процессов. Этот метод является одним из ведущих в картировании функциональных зон головного мозга, с его помощью становится возможным выявление нейронных сетей головного мозга, функционирующих в состоянии покоя, а также при выполнении определенных заданий. В данной работе состояние мозга в процессе распознавания фрагментированных контурных фигур методом фМРТ исследовалось в рамках модели динамического развития инсайта: до возникновения порога распознавания, в момент достижения порога и после распознавания.

Томография позволяет неинвазивно визуализировать внутреннее строение человека, в первую очередь его внутренних органов и мягких тканей, с высоким качеством разрешения. Магнитно-резонансная томография основана на измерении электромагнитного отклика, как правило, ядер атомов водорода, на возбуждение их определённым сочетанием электромагнитных волн в постоянном магнитном поле высокой напряжённости. Благодаря явлению ядерного магнитного резонанса получается контрастная визуализация состояния различных тканей организма. Функциональная магнитная томография является разновидностью магнитно-резонансной томографии, которая позволяет исследовать работу органов посредством измерения гемодинамических реакций, изменения движения спинномозговой жидкости, определять уровень диффузии в тканях, визуализировать активацию различных областей коры головного мозга, обусловленных

нейронной активностью в покое или при выполнении операций. В отличие от электрофизиологических методов, метод фМРТ даёт хорошее пространственное разрешение.

Для оценки степени активации того или иного участка коры головного мозга в работе применялась методика BOLD - Blood Oxygenation Level Dependent, использующая оксигемоглобин и дезоксигемоглобин в сосудистом русле как эндогенный контрастный агент. Процесс представляет собой следующее: посредством повышения активности нейронов происходит локальное увеличение потребления кислорода. При этом в локальном кровеносном русле происходит повышение уровня дезоксигемоглобина. Дезоксигемоглобин является парамагнетиком, который регистрируется томографом. Параллельно с этим процессом и временной задержкой в несколько секунд нейрональная активность инициирует увеличение церебрального артериального кровотока и, соответственно, увеличение оксигемоглобина. Количество оксигенированной крови, инициируемое нейрональной активностью, существенно превосходит метаболическое потребление кислорода. Подобная сверхкомпенсация оксигемоглобина ведет к изменению в соотношении оксигемоглобина и дезоксигемоглобина, что измеряется и является основой для BOLD - фМРТ сигнала (Ogawa et al., 1990; McKiernan et al., 2003; Buxton et al., 2004; Logothetis, Wandell, 2004).

Оценку локальной активности зон интереса относительно целого мозга проводили методом двухкомпонентного t-теста (t-критерий Стьюдента, $p < 0.001$). Протоколы представлены в Приложении №1.

2.3. Этапы и процедуры исследования

2.3.1. Этап апробации метода исследования инсайта с использованием психофизиологических и психологических маркеров

На первом этапе моделирование условий возникновения инсайта как порога возникновения целостного образа при наблюдении контурных неполных фигур с разным числом разрозненных фрагментов

(обеспечивающих разный процент заполнения контура) проводили с помощью компьютеризированной методики Голлин-теста.

В ходе подготовки к первому этапу исследования измерения полного набора стимулов выполнялись четыре дня подряд. Однако последующие исследования показали, что повторные замеры снижают пороговые значения распознавания фрагментированных контуров изображений объектов, поэтому был определен оптимальный алгоритм прохождения Голлин-теста для моделирования инсайта.

Он предполагал прохождение процедуры тестирования в однократном режиме с предъявлением алфавита из набора 32 неполных изображений фигур Голлин-теста.

Инструкция состояла в скорейшем распознавании контурного объекта с подачей ответа и саморегистрацией эмоциональной реакции в момент распознавания. Исследование проводилось 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 на расстоянии 70-80 см. от лица. Подача сигнала ответа осуществлялась посредством нажатия правой клавиши мышки, которая располагалась справа от монитора. В ходе исследования испытуемый неотрывно располагал кисть руки на мышке для обеспечения максимальной скорости ответа. После подачи сигнала ответа постепенное наращивание контура прекращалось, и объект демонстрировался испытуемому полностью. В случае угадывания, испытуемый подтверждал правильность своего ответа повторным нажатием правой клавиши компьютерной мышки, при ошибочном угадывании – левой клавишей мышки.

Алфавит контурных фигур ранее не демонстрировался испытуемому и был ему не знаком. Методом интроспекции, базирующемся на рефлексивной природе человеческой психики, регистрировали информацию о наличии или

отсутствии в момент осознания решения выраженной эмоциональной реакции (протокол заполнялся самим испытуемым).

2.3.2. Этап апробации метода исследования состояния нейронной сети в момент возникновения инсайта с использованием нейровизуализации

Второй этап исследования 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 методом двухкомпонентного t-теста. Характеристика выборки добровольцев для этого этапа исследования указана ранее.

При выполнении распознавания 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). Сравнение осуществляли на основании стандартных методов статистической обработки изображений в среде MatLab и Spm12 «виртуальных срезов мозга» по данным фМРТ.

Испытуемые, находясь в лежачем положении, наблюдали изображения на экране посредством системы зеркал, закрепленных на катушке над их головой. Картинки Голлин-теста размером 2.5 угловых градуса проецировались в центральной части экрана. Зрительные стимулы предъявляли с помощью мультимедийного проектора BENQ PB 8250 XGA, размещенного вне камеры (частота кадровой развертки 85 Гц) на полупрозрачный экран, находящийся на расстоянии 3.72 м от глаз испытуемого (рисунок 6). Для получения изображений карт активации использовали методику эхопланарной томографии (echoplanarimaging - EPI), которая позволяла получить изображение всего головного мозга (36 срезов) с матрицей 64x64 пикселя в течение 3 секунд.

Данная методика основана на сверхбыстром переключении градиентов магнитного поля. 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. Для оценки степени активации того или иного участка коры головного мозга использовали методику измерения уровня оксигенации гемоглобина – BOLD, которая описана в разделе 2.2. «Методы исследования».



Рис. 6. Расположение испытуемого и оборудования во время второго этапа исследования

Исследование на втором этапе было разделено на две фазы.

В фазе 1 участники, лежа в томографе, смотрели на экран, на котором предъявляли белую точку фиксации на черном фоне. Задачей участников было просто смотреть на точку.

В фазе 2 каждому испытуемому предъявляли картинки алфавита стимулов с постепенным наращиванием контура (Голлин-тест) для распознавания.

Далее проводилось усреднение активации по всем стимулам в фазе 2. Полученные данные были разделены на три периода: 1 - подпороговый, до возникновения порога распознавания (ПП); 2 - пороговый, момент возникновения порога распознавания (П); 3 - надпороговый, после порога распознавания (НП). Каждый из исследуемых периодов в фазе 2 (ПП, П и НП) сравнивали с фазой 1 (фиксация взора на точке).

Измерения методом функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) проводили в ФГБУ СЗФМИЦ им В.А. Алмазова Минздрава России. Обработка и анализ данных выполнялись в ИФ РАН. Основное внимание при обработке результатов исследования уделялось сравнительному анализу изображений, отражающих активность разных зон мозга во время последовательных стадий когнитивного процесса и в состоянии «покоя». Оценивали также различия между допороговым и послепороговым состоянием мозга и моментом достижения порога распознавания. При проведении фМРТ-измерений особый интерес представляли не только абсолютные значения BOLD-сигнала, но и его изменения во времени при разных состояниях испытуемого, включая состояние возникновения инсайта. Таким образом, в этих условиях, в первую очередь, рассматривали относительные величины. При этом оставалась возможность оценки мозговой активности той или иной структуры мозга в прямом числовом измерении в виде числа активированных вокселей.

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ ИНСАЙТА

3.1. Результаты исследования возникновения инсайта в процессе распознавания формы изображения с возможностью измерения порогов распознавания

По результатам первого этапа исследования был определен порог возникновения инсайта. При 10% предъявлении контура объекта, у наблюдателя (испытуемого) сохранялась полная неопределенность относительно того, какую форму в дальнейшем примут предъявленные и случайно выброшенные по контуру фрагменты формируемого изображения объекта. Малое число фрагментов контура объектов не позволяло восстановить образ предъявляемого объекта. Однако при постепенном заполнении контура неполного изображения в Голлин-тесте можно было зафиксировать его величину, при которой в случайном наборе точек наблюдателем внезапно осознавался целостный объект. Иными словами, из разрозненных частей изображения в этот момент мгновенно строится целостный ментальный образ - возникает внезапное озарение или инсайт. Величина заполнения контура неполного контурного изображения, воспринимаемая наблюдателем как целостный объект, считалась пороговой для распознавания предмета, выражалась в процентах длины предъявляемого контура и вычислялась с использованием следующей формулы:

$$\text{Thr (порог распознавания)} = (V_{fr} / V_{tot}) \times 100\%, \text{ где}$$

V_{fr} – количество пикселей контура, при котором произошло узнавание,
 V_{tot} – общее количество пикселей в полном контуре объекта.

Для большинства стимулов, предъявляемых испытуемому из тестового алфавита, порог распознавания наблюдался при 20% заполнения контура изображений, используемых в Голлин-тесте. Для уточнения методических условий и выбора оптимальной программы экспериментов с оценкой порогов

распознавания фрагментированных объектов, измерение порогов распознавания у испытуемых проводилось четыре дня подряд. Результаты предварительных исследований по всем дням измерений приведены в таблице 3.

Таблица 3. Средние значения и среднеквадратические отклонения для порога распознавания неполного контурного изображения при наблюдении испытуемыми алфавита стимулов в разные экспериментальные дни

День измерений	Среднее значение и среднеквадратическое отклонение (% длины предъявленного контура)
1	20 ± 5
2	12 ± 5
3	9 ± 5
4	8 ± 4

Из полученных данных видно, что в первый день измерений пороги возникновения целостного образа при восприятии контурных фигур наиболее высокие, в последующие дни их показатели снижаются. Аналогичные данные были получены и тогда, когда повторные замеры производили не через сутки, а через несколько дней или недель. Следовательно, повторные измерения изменяли значения порогов распознавания фрагментированных контуров изображений объектов. Это означает, что происходит обучение данному типу исследования, и главное, что данному набору (алфавиту) тестовых стимулов. Результаты данной серии измерений позволили уточнить сроки и условия оптимального предъявления стимулов с переходом на разовые измерения.

Ранее проводимые исследования показали, что пороги распознавания зависят от сложности тестового изображения, скорости нарастания числа фрагментов компьютеризированного Голлин-теста и состояния испытуемого в момент проведения исследования. Эти факторы учитывались при

проведении основных серий исследования. В частности, из 72 первоначальных стимулов был отобран набор из 32 сопоставимых по сложности стимула, скорость предъявления каждого стимула была строго постоянной, при проведении экспериментов старались контролировать стабильность характеристик состояния испытуемых.

При измерении порогов распознавания с помощью айтрекера проводилась регистрация направления взора во время последовательного нарастания контура. Каждый последующий дополнительный фрагмент фигуры появлялся на экране случайно. Испытуемый не знал, где будет следующее приращение контура. Поэтому, необходимо было проводить контроль движений глаз и определять направление взора испытуемого при решении задачи распознавания фрагментированных изображений. Таким образом, благодаря аппаратно-программным возможностям системы видеоокулографии и визуализации данных, был обеспечен высокий уровень контроля за вниманием испытуемого во время решения предлагаемой задачи и его следования инструкции прохождения Голлин-теста.

Пример результатов этих измерений представлен на рисунке 7. Напомним, что инструкция подразумевала фиксацию взгляда на экране монитора, где поэтапно формировалось неполное контурное изображение. Посредством одного из способов визуализации данных, а именно «тепловой карты» была получена возможность четко видеть, что взор испытуемого оставался в области предъявления фрагментов контура и, более того, располагался в предполагаемом центре фигуры. Тепловая карта - популярная пространственная характеристика перемещений и фиксаций взора (рисунок 7). Цветовая палитра тепловой карты (от синего к красному) отражает частоту, длительности просмотра и число фиксаций. Красные зоны отражают зоны, на которых внимание было сфокусировано дольше остальных. Таким образом, осуществлялся объективный контроль проведения первого этапа эксперимента, и была исключена возможность отвлечения испытуемого во время исследования.

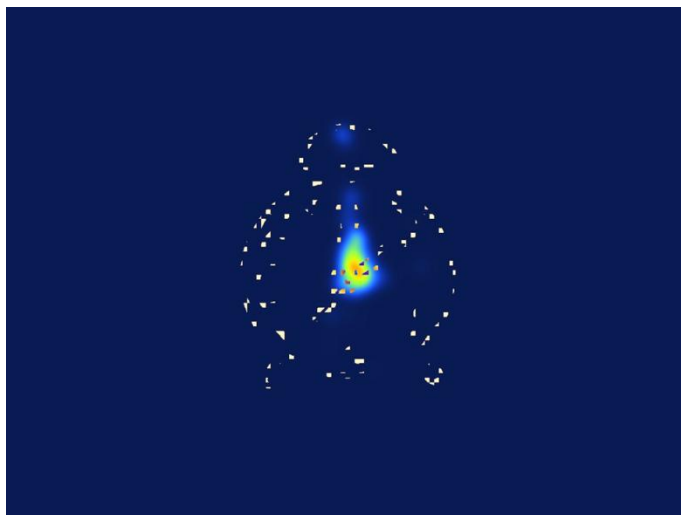


Рис. 7. Тепловая карта - визуализация результатов видеоокулографии при проведении Голлин теста (стимул на экране - «будильник»).

3.2. Взаимосвязь порогов возникновения инсайта (распознавания) с эмоциональными составляющими моторного отклика, отражающего принятие решения

Одним из основных критериев инсайта является наличие выраженной эмоциональной реакции испытуемого во время решения инсайтной задачи. В то же время, при попытках фиксации эмоционального ответа инструментальными методами (кожно-гальваническая реакция, изменение частоты сердечных сокращений, изменение диаметра зрачка) регистрируемые показатели изменения психофизиологического состояния часто не совпадают с субъективной оценкой испытуемого - не отражают положительную реакцию на решение задачи или свидетельствуют об изменении состояния испытуемого, которое не подтверждалось его самооценкой. Данные особенности хорошо известны специалистам полиграфологам. Поэтому применялся метод интроспективного наблюдения (самоотчета испытуемых), который оказался наиболее оптимальным для реализации цели и задач исследования. Результаты самоотчетов испытуемых в отношении проявления у них эмоциональной реакции при достижении порога распознавания формы изображения в Голлин-тесте представлены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты самоотчета испытуемых при достижении порога распознавания в компьютеризованном Голлин-тесте.

Общее количество испытуемых	«ДА» (% случаев наличия эмоциональной реакции)	«НЕТ» (% случаев отсутствия эмоциональной реакции)
45	92%	8%

Данные показывают, что подавляющее большинство испытуемых отметили выраженную положительную эмоциональную реакцию при достижении порога распознавания, когда в случайном паттерне точек они внезапно осознавали целостный объект (момент инсайта). При этом было подтверждено соответствие одному из методических критериев и наблюдалась убедительная взаимосвязь порогов распознавания фрагментированных изображений в Голлин-тесте с эмоциональными составляющими моторного отклика, отражающего принятие решения о форме объекта ($p < 0,01$).

Таким образом, результаты этой части работы свидетельствовали о том, что выбранная технология изучения инсайтного решения задачи на основе принятой версии Голлин-теста моделирует основные периоды и атрибуты инсайта и позволяет проводить измерения порогов его возникновения с контролем за эмоциональной составляющей моторного ответа. Кроме того, была определена средняя пороговая величина длины контура изображения, обеспечивающая распознавание объекта в условиях восприятия неизвестного алфавита, которая составила $20 \pm 5\%$.

3.3. Результаты исследования состояния нейронной сети методом фМРТ в момент возникновения инсайта

Второй этап исследования включал две серии экспериментальных измерений, связанных с выбором оптимальной скорости тестовой стимуляции для согласования ее динамики с инерционными характеристиками фМРТ и анализом карт активности мозга с оценкой ее изменений во времени.

3.3.1. Первая серия исследований

В первой серии основной части исследований, выполненных с участием 45 испытуемых, определяли оптимальную скорость предъявления тестовых изображений, необходимую для получения наилучшего развертывания BOLD-сигнала.

Для того, чтобы дифференцировать исследуемый процесс возникновения инсайта и наступающий сразу после начала предъявления любого стимула известный подъём активности, мы провели отдельные серии измерений, в которых варьировалось время предъявления фрагментов и достижения порога распознавания. Нас интересовала регистрация изменений активности мозга при разной динамике серий с предъявлением тестового сигнала, т. к. 20% уровень заполнения контура, соответствующий порогу распознавания, мог наступать и через 20 и через 30 с после начала предъявления фрагментов изображения.

Результаты измерений при разной длительности последовательного предъявления стимулов представлены на рисунках 8 и 9. Они отражают изменения BOLD-сигнала в различных областях коры при длительности серии с предъявлением стимула в Голлин-тесте 30 и 45 с.

В первом случае, при условно «быстрой» скорости серии: за 36 с (12 сканов) набиралось 60% контура тестового изображения; за 30 с (10 сканов) - 50% контура тестового изображения. В этой серии установленная в психофизических измерениях пороговая величина распознавания предъявляемого контура (20%) попадала на первую неспецифическую волну BOLD сигнала (4-й скан).

Во втором эксперименте, при «медленной» скорости серии: за 45 с собиралось 45% контура тестового изображения. Эта скорость заполнения контура оказалась гораздо удобнее. За счет более медленного предъявления фрагментов контура тестового изображения, момент достижения порогового значения в 20% контура, удалось сдвинуть на 7-ой скан, что соответствовало второму отклику нейронной активности коры головного мозга (инсайту).

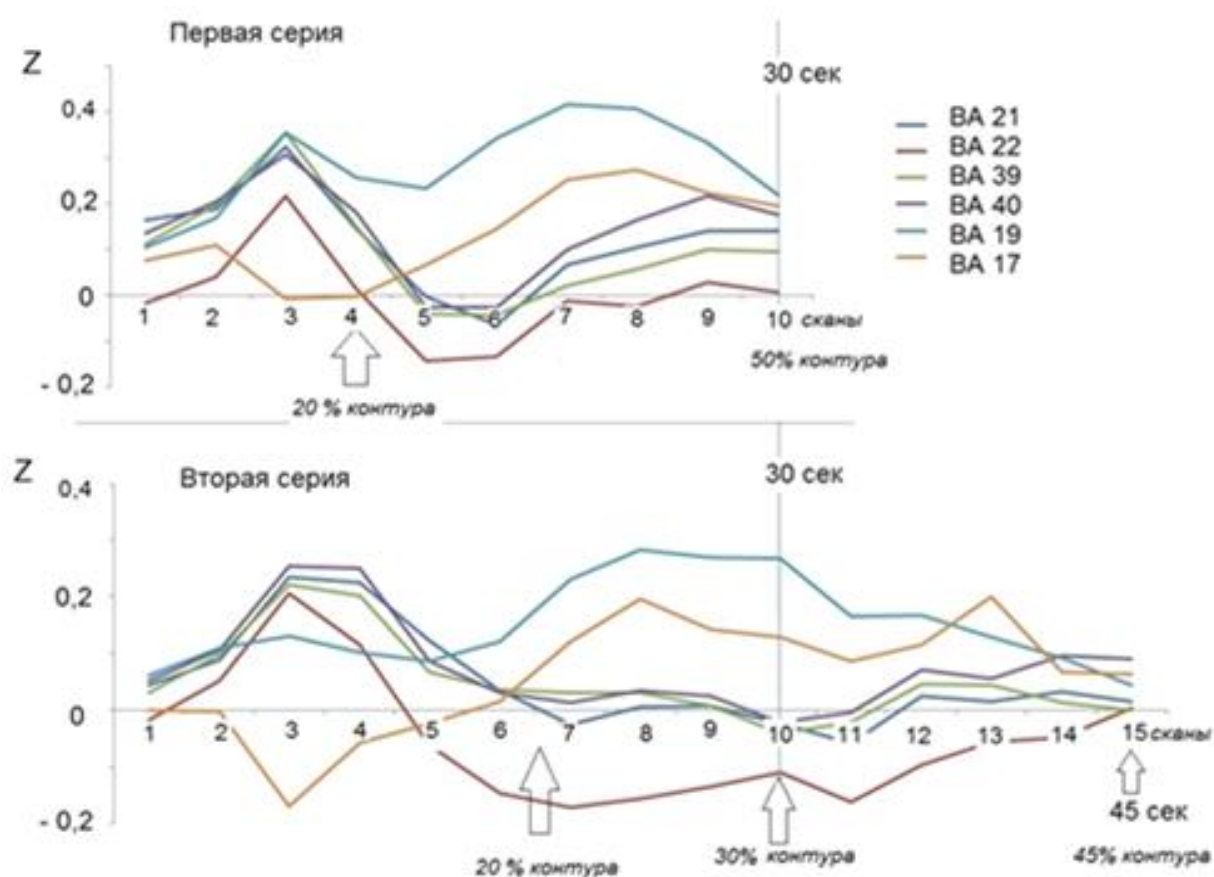


Рис. 8. Графики изменения BOLD сигнала при разной длительности последовательного предъявления стимулов в затылочной (BA19, BA17), теменно-височной (BA39, BA40), теменной (BA21) и слуховой (BA22) областях коры головного мозга. Первая серия (вверху): быстрое предъявление фрагментов контура изображения, вторая серия (внизу): медленное предъявление фрагментов.

Таким образом, первый отклик (запуск обработки фрагментов тестового изображения) и второй отклик (момент инсайта) во всех представленных на графиках зонах оказались четко разделены. Подробнее мы рассмотрим их в разделе 3.3.3. Здесь лишь укажем на то, что при 30% предъявления контура тестовых изображений, соответствующих 10-му скану, практически все тестовые изображения были распознаны.

При дальнейшем увеличении элементов контура изображений, после 30% предъявления длины контура (100% распознавания тестового изображения), в подавляющем большинстве зон начинался спад кривой

BOLD сигнала. Далее при этой скорости наглядно видно, как кривые BOLD сигнала возвращаются в исходное состояние, что только угадывалось при первом варианте скорости предъявления тестовых стимулов.

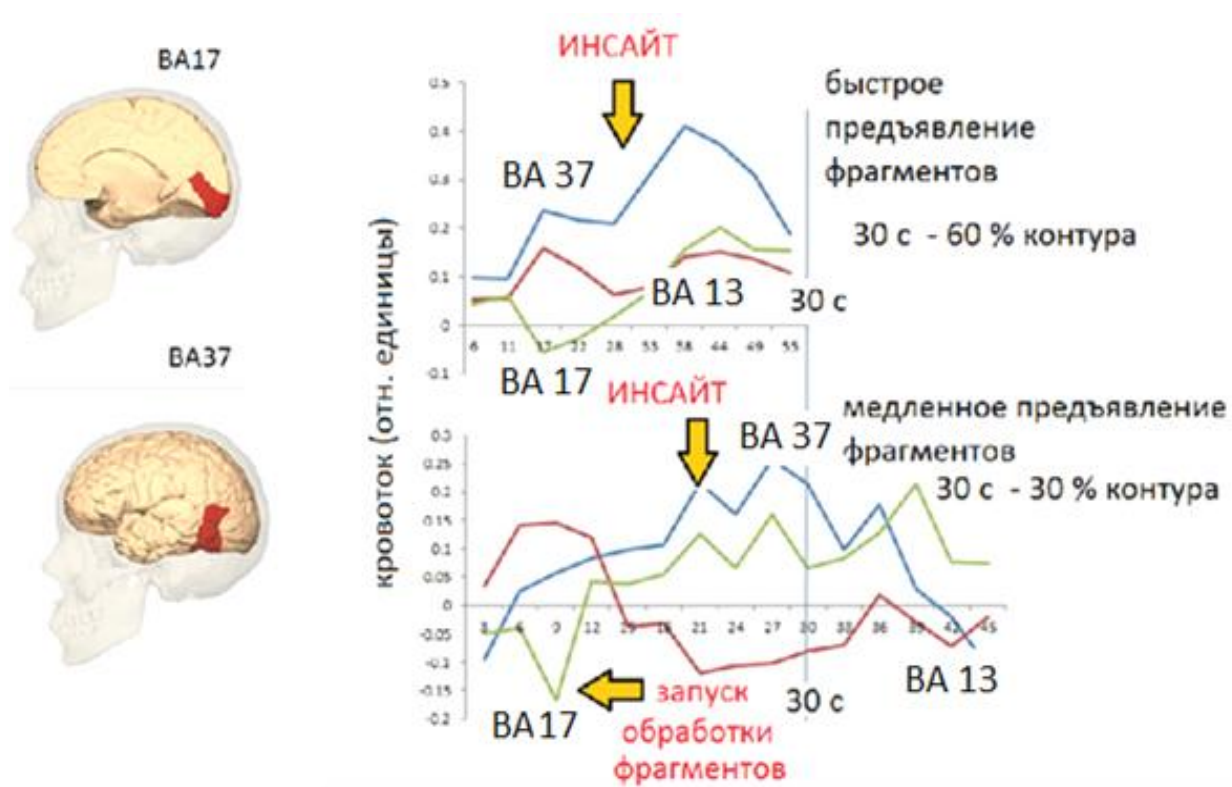


Рис. 9. Графики изменения BOLD сигнала при различной длительности последовательного предъявления стимулов в зонах BA17, BA37 и BA13.

Проведенные измерения показали, что замедленная скорость предъявления серий фрагментированных изображений позволяет согласовать временные характеристики стимуляции с низким временным разрешением метода фМРТ. Весь зарегистрированный сигнал при таком разворачивании стимула становится возможным подробно исследовать и сопоставить с психофизиологическими реакциями. Так, ответы исследуемых при этой скорости серий предъявления отображаются более полно и четко просматриваются особенности графиков изменений BOLD-сигнала в различных зонах коры мозга. Поэтому при дальнейших измерениях основной серии использовались именно эти параметры стимуляции.

3.3.2. Вторая серия исследований

3.3.2.1. Анализ карт активности мозга

Во второй серии исследований были использованы установленные в предыдущей серии длительности предъявлений стимулов. Подробности методики и общий дизайн этой части исследования представлен в главе 2.

Результаты состояния различных участков коры головного мозга в опытах с Голлин-тестом, полученные методом фМРТ, приведены на рисунках 10, 11, 12. В левом верхнем углу около каждого среза мозга указан его номер.

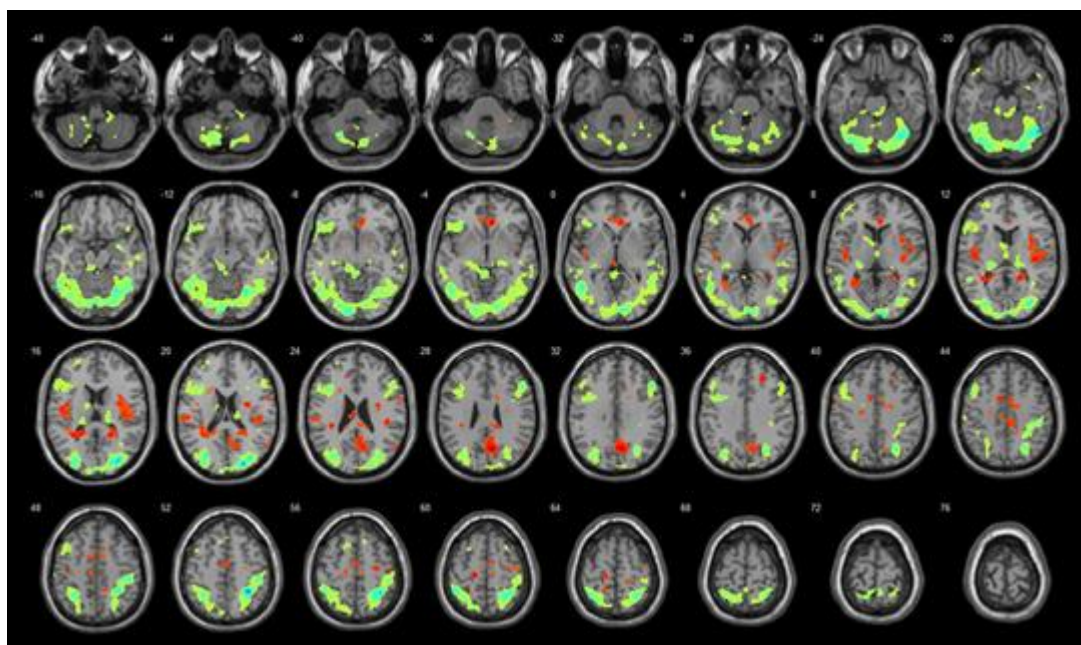


Рис. 10. Усреднённый уровень активации для группы из 22 человек (FDR-corrected - уровень ложноположительных результатов, $p = 0,01$) в задачах на распознавание неполно представленного изображения объекта (предъявлено 10% контура). Результат статистической обработки разницы состояния активности мозга до-, во время- и после- возникновения инсайта относительно состояния «покоя» по данным фМРТ.

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

Представленные данные отражают усреднение активации по всем стимулам в фазе 2 (проведение Голлин-теста). Они разделены по трем периодам в развитии решения задачи распознавания: А - подпороговый, до возникновения порога распознавания (ПП), от 0 до 10% наращивания контура изображения (рисунок 10); Б - пороговый, момент возникновения порога распознавания (П), от 10 до 25% контура изображения (рисунок 11); В - надпороговый, после порога распознавания (НП), от 25 до 60% контура изображения (рисунок 12). Данные для исследуемых периодов в фазе 2 сравнивали с данными в фазе 1.

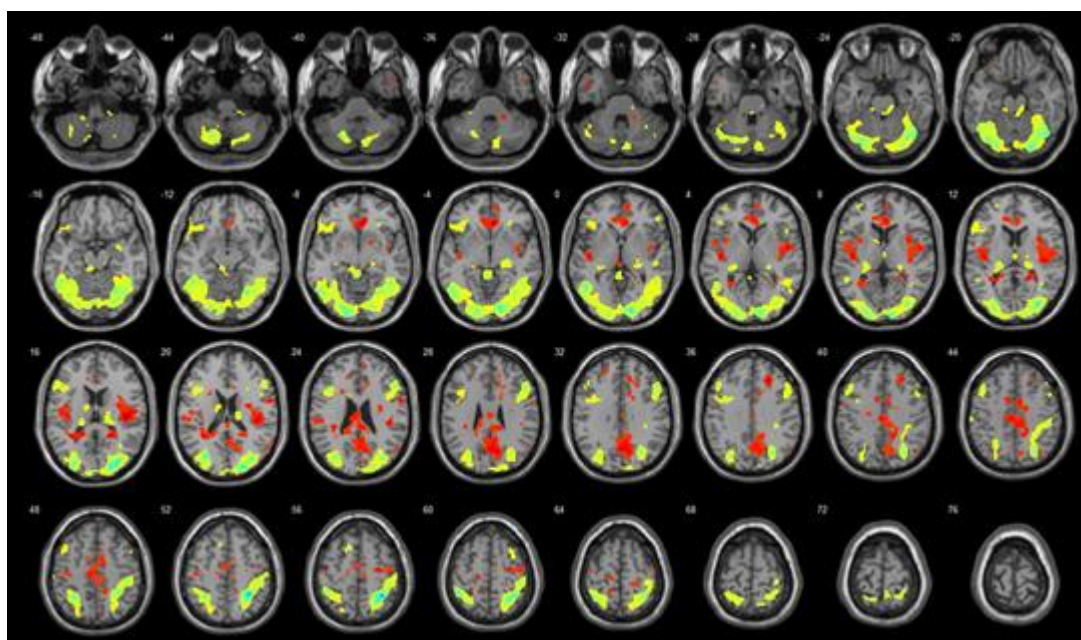


Рис. 11. Усреднённый уровень активации для группы из 22 человек (FDR-corrected, $p = 0,01$) в задачах на распознавание неполно представленного изображения объекта (предъявлено 20% контура).

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

На рисунках 10 и 11 в условиях до-, и после- достижения порога распознавания, практически на всех срезах, видна активность мозга слева в лобной доле. При этом, на рисунке 11 - в момент достижения порога

распознавания, отчетливо видно увеличение число вокселей уже в правом полушарии. Активность мозга растет в правой лобной доле срезов 20-30 и в затылочной доле срезов от 16 до 0 и срезов от 16 до 24.

В целом заметим, что изменения в активности разных участков мозга при достижении порога и в до-пороговом (ПП) и после-пороговом (НП) состояниях видны визуально. Они также подтверждены данными статистического анализа. Получены статистически достоверные различия максимальной активности мозга в момент внезапного осознания в случайном паттерне точек целостного объекта, представляющего суть инсайта. Кроме того, можно отметить активацию лобной и затылочной областей в правом полушарии в момент достижения порога распознавания.

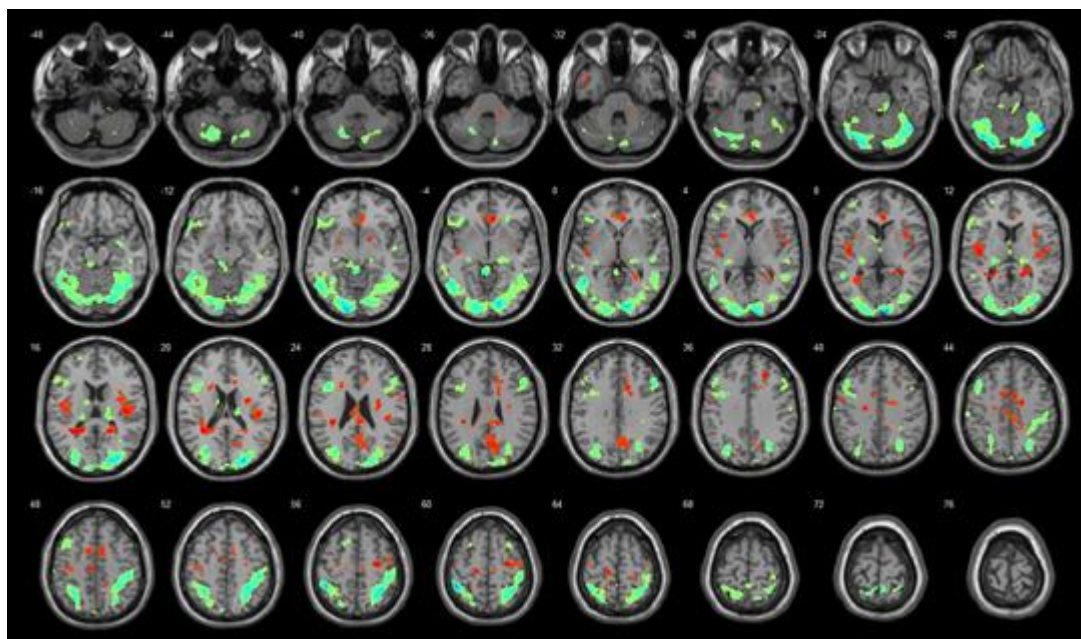


Рис. 12. Усреднённый уровень активации для группы из 22 человек (FDR-corrected, $p = 0,01$) в задачах на распознавание неполно представленного изображения объекта (предъявлено 60% контура).

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

Таким образом, показано, что в процессе распознавания формы изображения с использованием компьютеризированной версии Голлин-теста, момент достижения порога распознавания (20% контура) сопровождается активацией правого полушария. Этот полученный методами фМРТ важный результат полностью согласуется с общими положениями о роли правого полушария в развитии инсайта, и может служить еще одним косвенным подтверждением правильности выбранной нами модели инсайта.

Важно также отметить, что в момент достижения порога распознавания, который отождествляется с инсайтом, обнаружен максимум общего числа активированных вокселей фМРТ-срезов. На диаграммах рисунка 13 количественно представлены различия в картах активности мозга в разные периоды развития инсайта: при достижении порога и в до- и послепороговом состоянии.

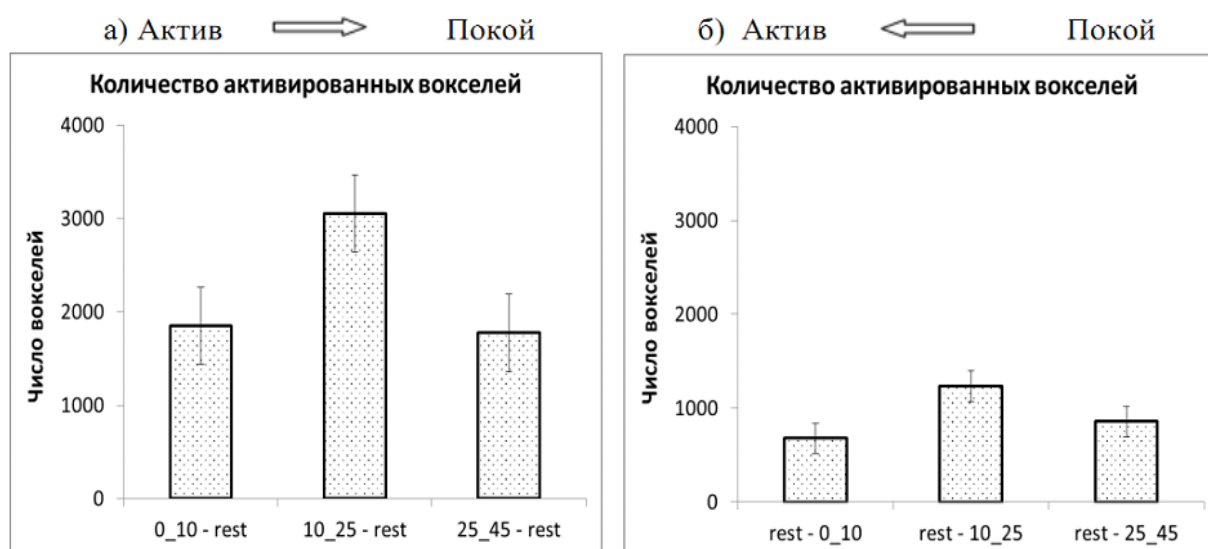


Рис. 13. Среднее значение разницы активированных вокселей всего головного мозга при двух типах статистического сравнения с указанием стандартной ошибки среднего значения (SE) в зависимости от предъявления изображения до появления инсайта, во время инсайта и после достижения инсайта. Обозначения: а) «активация» относительно «покоя»; б) «покой» относительно «активации».

В центре каждого рисунка виден достоверный пик, который соответствует моменту порогового распознавания формы неполного, фрагментированного изображения. Последующее увеличение проявляемых на экране фрагментов контура тестового изображения уже не увеличивает различие с «покоем», а напротив, уменьшает его.

Интересно отметить, что 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. Более наглядно это отражено в динамике изменения BOLD-сигнала.

3.3.2.2. Анализ активности мозга на основании изменения BOLD сигнала

Рассмотрим полученные методом фМРТ данные об активности цитоархитектонических полей (зон) мозга по Бродманну (Brodmann, 1909). Анализовались активность полей 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, наиболее интересных для нас, и активность крупномасштабных нейронных сетей, связывающих эти структуры. Интерес к этим зонам объяснялся их возможным участием в формировании крупных нейронных сетей в феномене инсайта.

Выявлены различия в активации зон левого и правого полушария. Первые 15 с после начала стимуляции их активация, по суммарному BOLD-сигналу всех областей, одинакова и слева и справа. Однако есть локальные отличия в реакции определённых полей на первые (как кажется наблюдателю, случайно появляющиеся точки) фрагменты будущего контура. Затем начинается отклик на формирование некоего паттерна. И этот отклик

также происходит не во всех областях одинаково. В одних - он проявляется увеличением активности, например, в зонах ВА37, ВА19, в других, например в медиальной теменной области (зона ВА7) – ее снижением. Следует дополнительно отметить, что поле 7 очень разнородно и его участки включены в разные нейронные сети и выполняют различные функции.

Изменение во времени BOLD-сигнала исследованных нами полей мозга по Бродманну представлено на рисунках 14, 15.

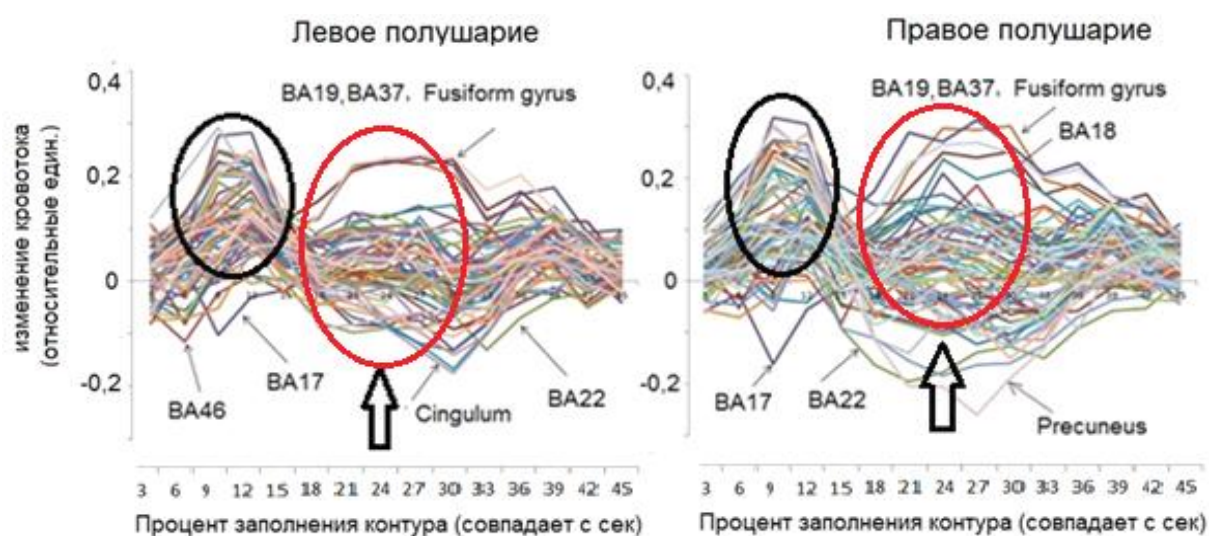


Рис. 14. Изменение во времени BOLD-сигнала многих полей мозга по Бродманну и подкорковых ядер, выбранных в качестве областей интереса. По оси абсцисс: процент заполнения контура, совпадающий с показателем времени в секундах, далее будет указано как $t(s)$. По оси ординат: изменение кровотока в относительных единицах, далее будет обозначено как Z - оценка.

На рисунке 14 видно, что область над стрелкой отражает реакции значительного числа областей мозга, активируемых в этих экспериментах. что наблюдается практически для всех сфер деятельности. Обращает на себя внимание форма этой активности – она разнонаправленная и оппонентная.

В литературе такие области получили названия «зоны активации» и «зоны базисного режима» или условного покоя (вне «задаваемых исследователем стимулов»). Это нейронные сети, проявляющие свою активность в разных состояниях мозга - при классификации или распознавании объектов (нижневисочная кора) и при отсутствии тестов, хотя

испытуемый слышит работу сканера, думает и т.д. Данная область активизируется при более простой форме деятельности, но не при решении пороговых задач (поясная извилина и медиальная часть теменной коры). Овал очерчивает первый неспецифический отклик теменных и лобных областей, соответствующий реакции «внимание», когда уже начато предъявление фрагментов, создающих пока неопределённый рисунок, поскольку недостаточно элементов контура. Стрелки указывают среднее значение заполнения контура (20%), при котором уже происходит распознавание, отождествляемое с инсайтом. Полученные графики откликов мозга отвечают на еще один важный для нас вопрос: где отклик больше - в правом или в левом полушарии. Из приведенных данных отчетливо видно, что и в условиях исследования мозговой активности во времени правое полушарие проявляет большую активность (статистически значимое различие).

На рисунке 15 выделены отклики некоторых областей из всего массива данных, не разделенные на привычные зоны активации и базисного режима.

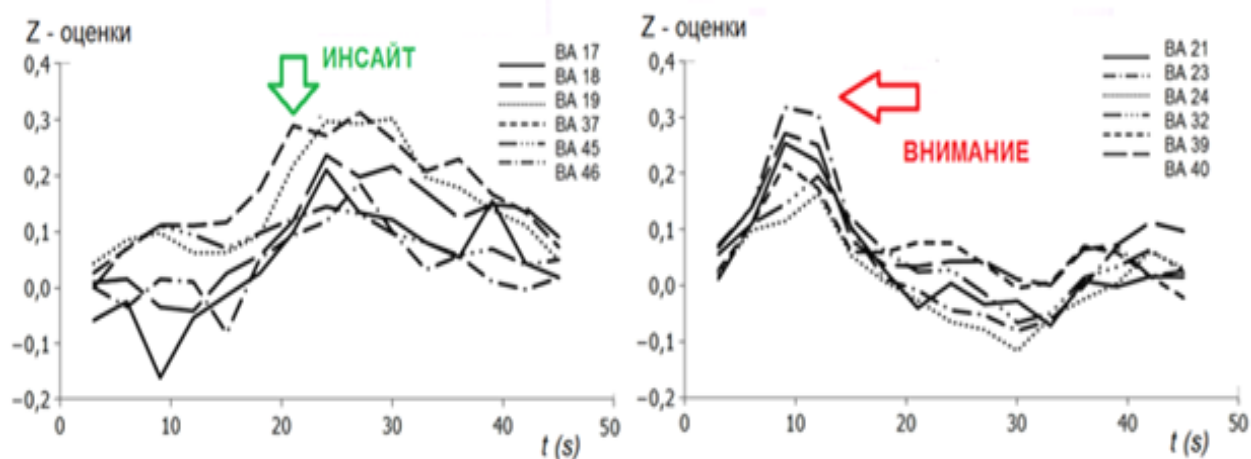


Рис. 15. Изменение во времени BOLD-сигнала некоторых полей мозга по Бродманну, выбранных в качестве областей интереса.

Слева - затылочные, задневисочная и лобные зоны, справа - нижнетеменные и височные зоны. По оси абсцисс - время и процент заполнения контура тестового изображения, численно равный моменту предъявления. По оси ординат - изменение кровотока в относительных единицах.

Эти результаты позволяют проследить изменение во времени BOLD-сигнала некоторых полей височной, нижнетеменной, затылочной, заднетеменной и лобной долей коры. Во времени они соответствуют приходу зрительной информации в мозг в первичные отделы и области синтеза изображений. Инерционность BOLD-сигнала раньше не позволяла точно определить время прихода сигнала, но благодаря проведенному в нашей работе согласованию предъявления числа фрагментов в одну секунду, удалось увидеть особенности динамики BOLD-сигнала. Отчетливо прослеживаются два отклика: первый - в допороговый период предъявления контура изображения, обозначенный нами как «неспецифический» (внимание), второй - «специфический», связанный с решением поставленной перед испытуемым задачи. Он достигает максимума в момент, соответствующий порогу распознавания, т.е. моменту инсайта.

На рисунках 16-19 отражены изменения BOLD-сигнала после начала предъявления стимулов в разных областях мозга.

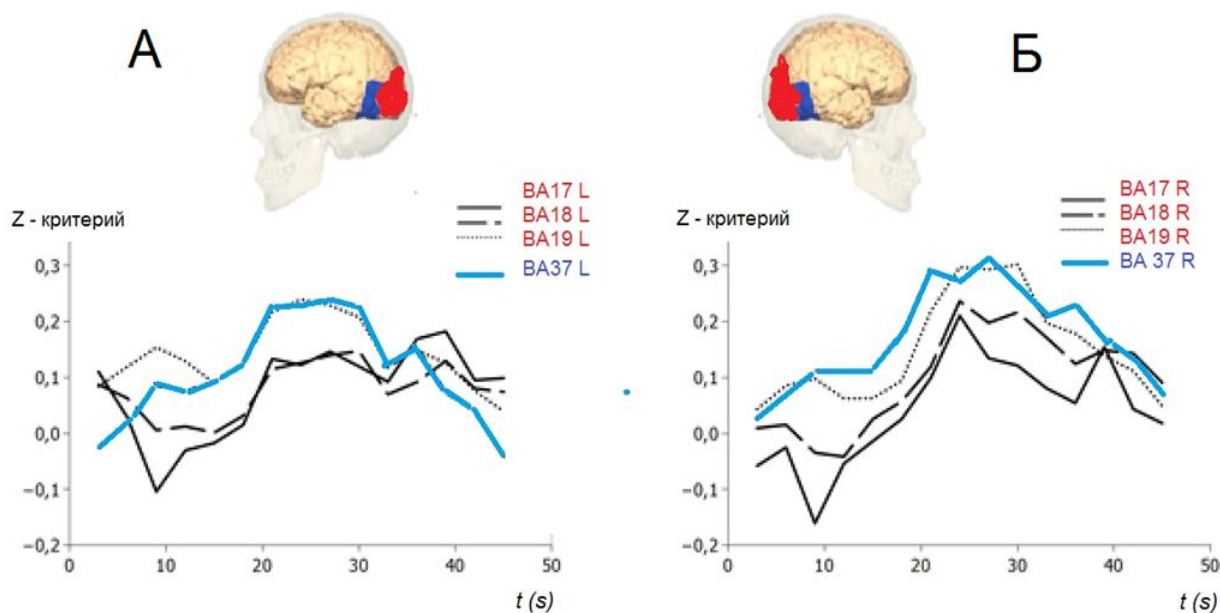


Рис. 16. Изменения BOLD-сигнала в затылочных долях коры в зонах BA17, BA18, BA19 и BA37 по Бродманну.

А - левое полушарие, Б – правое полушарие. По оси абсцисс: время и соответствующей ему процент предъявления контура тестового изображения. По оси ординат: значение BOLD-сигнала в относительных единицах.

Сразу после начала предъявлений стимулов характерно торможение только для участков первичной зрительной коры (поля ВА17 и ВА18) и «безучастность» зон ВА19, ВА37 (рисунок 16).

На последующих этапах прохождения Голлин-теста происходит нарастание BOLD-сигнала в первичных областях зрительной коры (зоны ВА17, ВА18), и еще более значительный рост BOLD-сигнала - в зонах ВА19 и ВА37.

Графики откликов затылочно-височной коры (поле ВА37) и медиальной области теменной коры (поле ВА7) показывают, что максимум ответа наблюдается в зоне ВА37, и он совпадает с моментом распознавания (20% предъявления контура изображения) и возникновения инсайта (рисунок 17). Хорошо видна также разнонаправленность откликов нейронов мозга в этих полях, что характеризуется как оппонентность ответа.

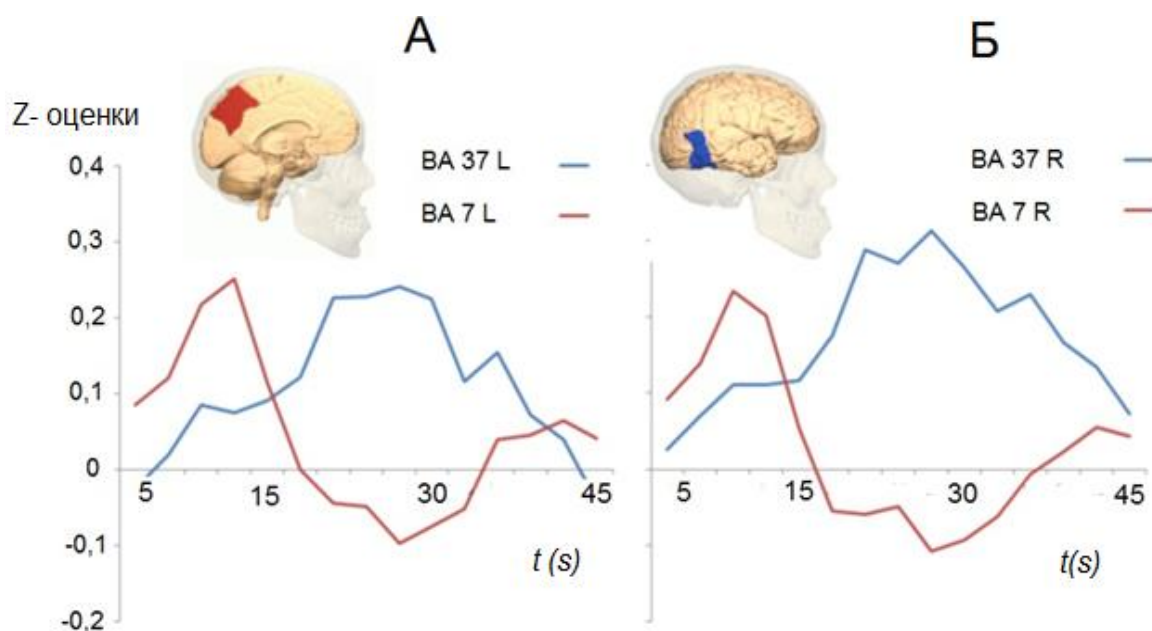


Рис. 17. Отклики долей затылочно-височной коры (поле ВА37) и медиальной области теменной коры (поле ВА7).

А - левое полушарие, Б – правое полушарие. По оси абсцисс - время и соответствующей ему процент предъявления контура тестового изображения. По оси ординат - значение BOLD-сигнала в относительных единицах.

Также отчетливо видно, что в правом полушарии (Б) оппонентные отклики зоны ВА37 и ВА7 выражены значительно сильнее, чем в левом (рисунок 17). При этом отметим, что пик расхождения совпадает с порогом распознавания и максимумом эмоциональной реакции испытуемого (инсайтом).

Максимальный, относительно других областей мозга, отклик зоны ВА37 в левом и правом полушарии в момент инсайта может также отражать проявление зрительно-лексических ассоциаций (расширенная зона Вернике), сопутствующих моменту опознания изображений объекта.

Сравним теперь, представленные на рисунке 18, изменения BOLD-сигнала в основном поле теменной коры ВА7 и в лобных долях ВА8 и ВА9. Вначале в этой области теменной коры отмечается неспецифический ответ, который развивается при недостаточном заполнении контура (период ПП).

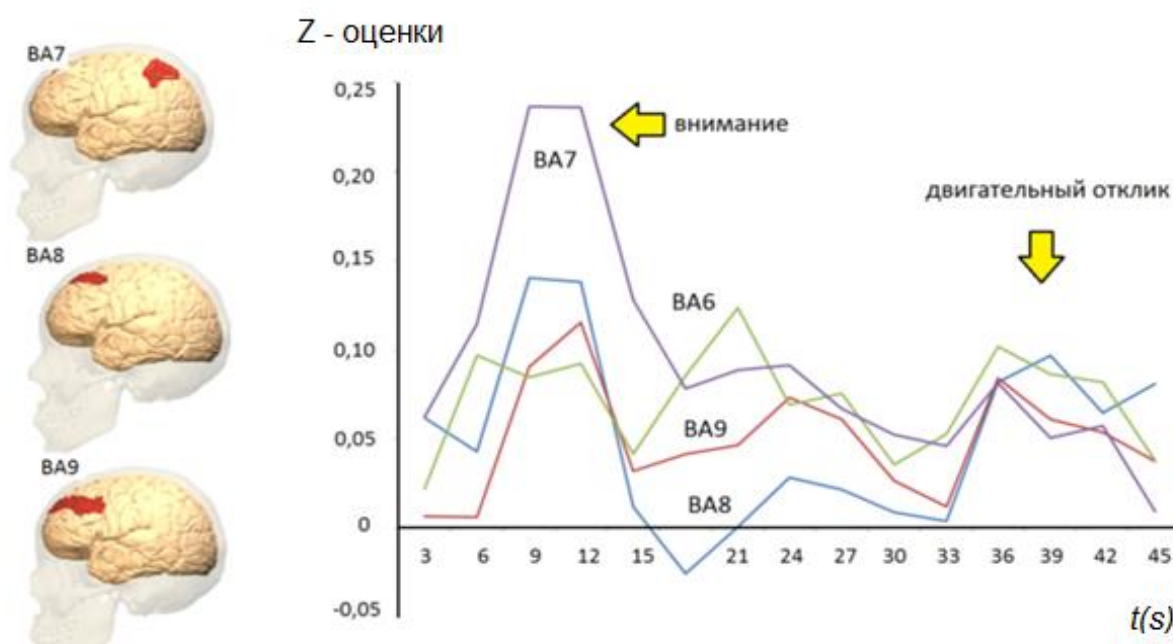


Рис. 18. Отклики теменных (ВА7) и лобных (ВА8, ВА9) долей мозга, связанных вначале с ориентировочной реакцией на появление стимула (вниманием), отсутствием изменений в момент распознавания, и в конце - двигательным откликом. По оси абсцисс - процент предъявления контура и численно соответствующее ему время в секундах. По оси ординат - значение BOLD-сигнала в относительных единицах.

В пороговый период (П) активности в этой зоне нет, в надпороговый (НП) - выделяется некоторый отклик на ответ испытуемого. Первая реакция ВА7 близка первому отклику на предъявление стимула в других зонах мозга, представленных на рисунке 15. Отметим, что одна из важнейших функций нейронных сетей теменной коры заключается в обеспечении пространственного избирательного внимания. Лобные доли ВА8, ВА9 демонстрируют определенную синхронность изменений с повышением активности на начало стимуляции и принятие решения.

На рисунке 19 (А, Б) представлены ответы на зрительную стимуляцию в лобных долях, а именно в ВА9 и ВА10 в правом и левом полушариях. Можно выделить неспецифический отклик на предъявление еще нераспознанного сигнала. Есть также активация в момент распознавания фрагментированного изображения. Этот ответ развивается только в правом полушарии и более выражен в зоне ВА9.

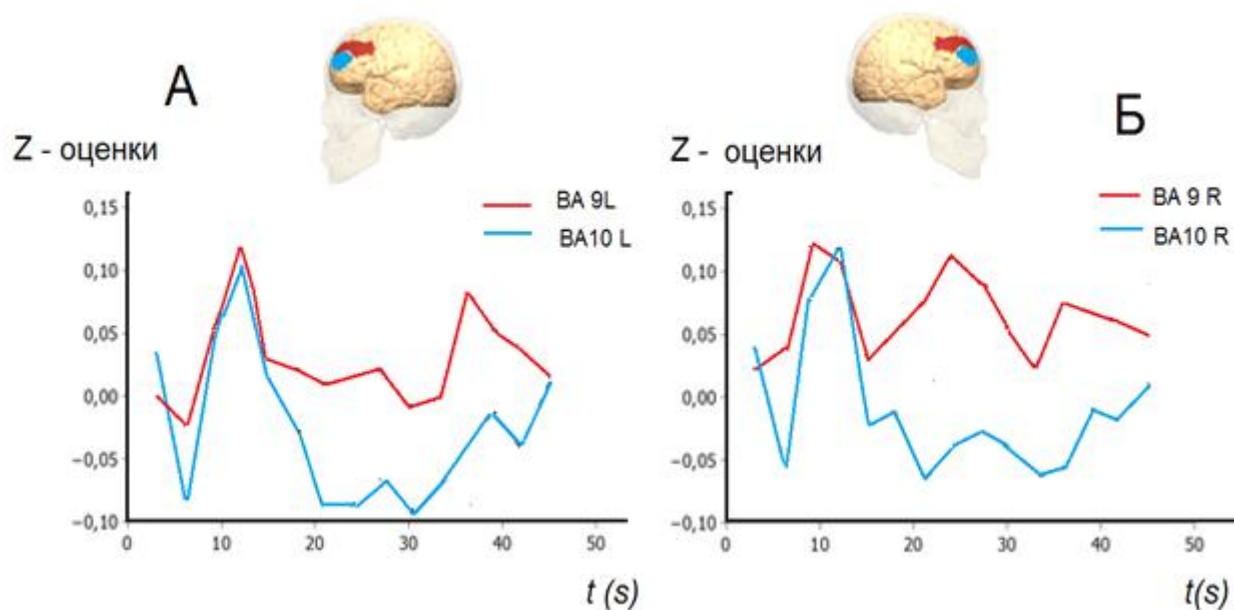


Рис. 19 (А, Б). Отклики левой и правой верхних лобных долей коры мозга (поля ВА9 и ВА10).

А - левое полушарие, Б – правое полушарие. По оси абсцис - время и соответствующей ему процент предъявления контура тестового изображения. По оси ординат - значение BOLD-сигнала в относительных единицах.

Сравним отличия в изменении BOLD-сигнала в левом и в правом полушариях для полей ВА9 и ВА10. Можно видеть, что на появление стимула BOLD-сигнал развивается в обоих полушариях одинаково. Это отражает отмеченный ранее в других зонах первый отклик, являющийся реакцией мозга на появление стимула и относящийся к периоду ПП - до распознавания (рисунок 19 А, Б). В момент, когда величина контура тестового изображения приближается к пороговой, т.е. к моменту инсайта, нейронные сети в лобных долях начинают работать своеобразно - синхронность в их активации пропадает и поля ВА9, ВА10 в левом и правом полушарии демонстрируют значимые отличия. Так, в левом полушарии активность поля ВА9 в момент достижения порога распознавания практически не меняется, а активность ВА10 - резко тормозится. В правом полушарии, картина меняется: активность зоны ВА9 возрастает, а активность ВА10 почти не изменяется.

Таким образом, между полями ВА9 и ВА10 верхних лобных долей коры наблюдается асимметрия как межполушарная, так и по их активации в момент достижения порога распознавания и возникновения инсайта. Отметим, что эти оппонентные отношения в лобной доле коры (рисунок 19 А, Б) выражены несколько слабее, чем оппонентные отношения между теменно-затылочной и височными областями (см. рисунок 17).

В целом, лобные доли являются наиболее выраженными у человека. Функционально они довольно мозаичны, поэтому обратим внимание и на нижний отдел лобной коры, а именно на зоны ВА44, ВА45, ВА46. В левом полушарии эти поля соответствуют речевой зоне - обширной области Брока, с которой практически началось исследование мозговой локализации функций. Известно, что у правшей зона Брока расположена слева, в чем состоит функция аналогичных участков правого полушария у правшей известно мало. Например, их соотносят с процессами семантического анализа зрительных сигналов.

На основании полученных фМРТ данных (рисунок 19 В, Г) в ВА44, ВА45, ВА46 обнаруживаются различия в изменении BOLD-сигнала в правом и в левом полушариях головного мозга. В частности, отклик зоны ВА44 отличается выраженной периодичностью, что может, предположительно, отражать процесс опроса записей образов в нейронной сети нижневисочной коры. В то же время, наблюдаемая визуально периодичность (порядка 6 секунд) статистически незначима. Это следует и из параметров временной дискретизации BOLD-сигнала (3 секунды) и из теоремы Котельникова.

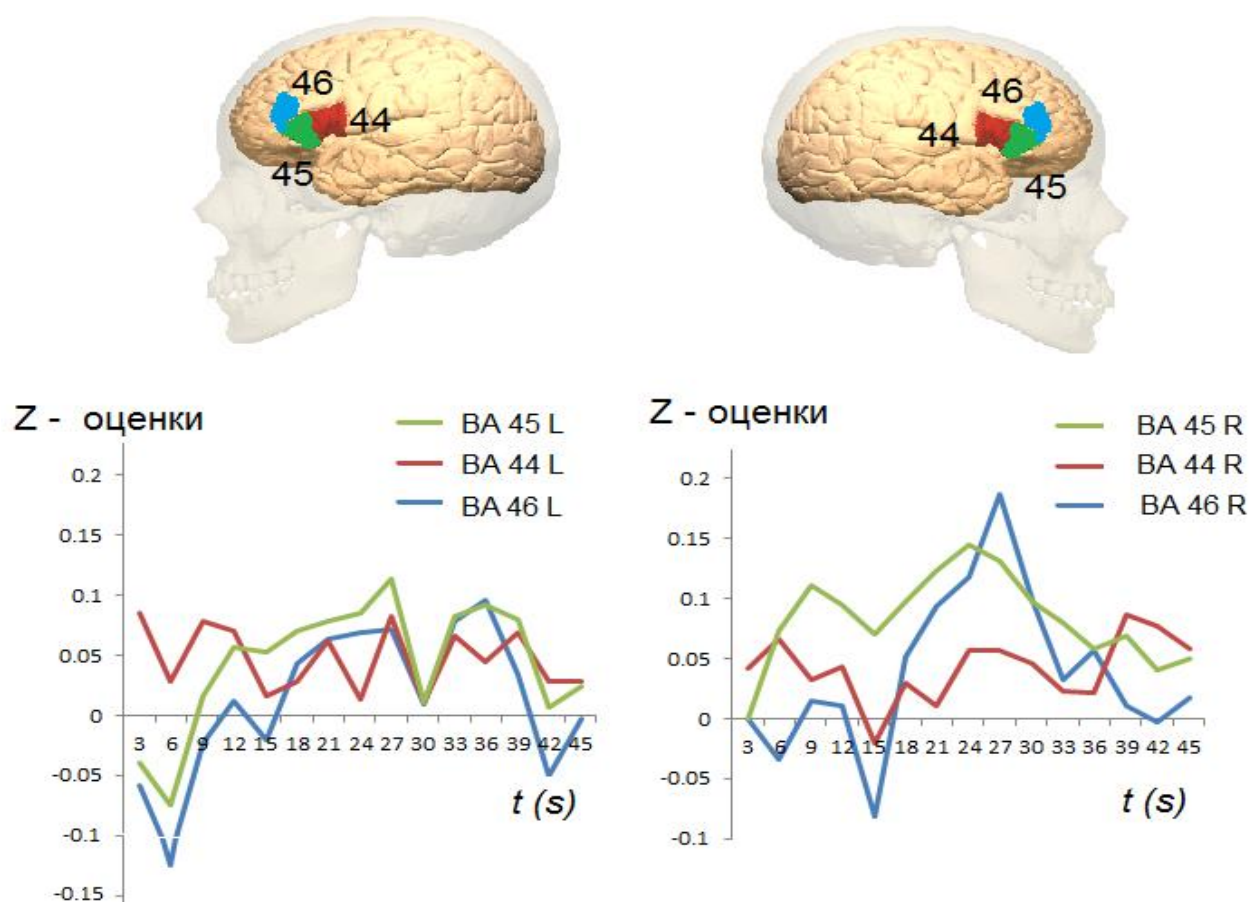


Рис. 19 (В, Г). Отклики левой и правой нижних лобных долей коры мозга (поля ВА44, ВА45 и ВА46). Обозначения как на рисунке 19 А, Б.

Статистически значимые различия слева и справа были установлены между откликами ВА45, ВА46. В то же время, реакция мозга в ВА45, ВА46 представляет особый интерес, т.к. в расширенную зону Брока в последние годы, помимо зон ВА44, ВА45, была включена ВА46 *левого полушария*,

играющая важную роль (предположительно, исполнительный контроль) в речеобразовании (Ardila, Bernal, Rosselli, 2016a,b).

В целом, в ВА44 (дорзальная часть зоны Брока) в левом полушарии наблюдается практически полное отсутствие реакций. Реакции нет ни на включение зрительной стимуляции ни на момент распознавания. При этом в правом полушарии в зонах ВА45 и ВА46 видны отчетливые реакции, связанные с порогом распознавания объекта. Таким образом, ВА44, 45, 46, по-видимому, выполняют работу, связанную, в основном, с семантической обработкой зрительных стимулов и невербальными сигналами (например, при невербальной коммуникации).

На рисунке 20 показана активация в височных областях, в частности, в слуховой зоне ВА22 и в нижневисочных долях ВА21 и ВА20, участвующих в обработке сложной зрительной информации.

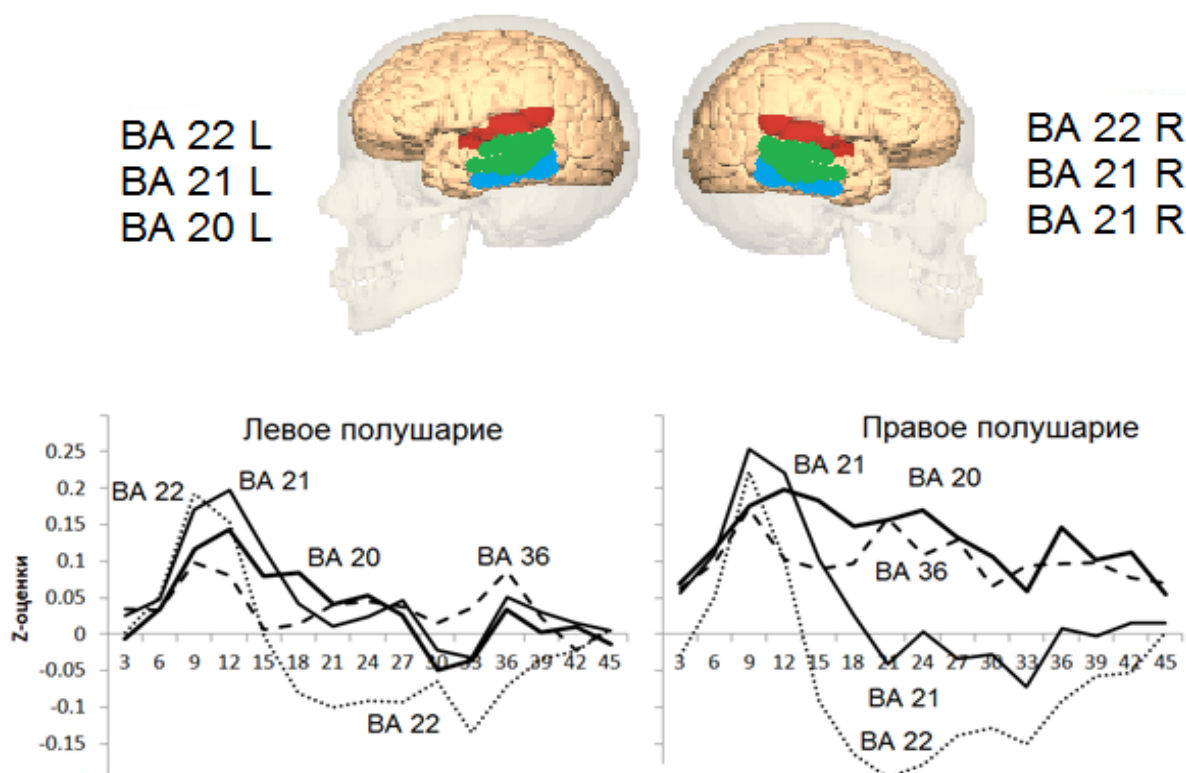


Рис. 20. Примеры откликов височных зон в левом полушарии, активированных появлением стимула (первый отклик), и зон в правом полушарии, активированных и появлением и распознаванием стимула (первый и слабый второй отклик). Обозначения как на рисунке 19 (А, Б).

Данные свидетельствуют об активации зон при предъявлении стимула. Видны также межполушарные различия в активации нейронных сетей в период распознавания изображений объектов Голлин-теста – активация справа ВА20 и ВА36, и торможение ВА21 и ВА22 в правом полушарии, особенно выраженное в отношении слуховой области ВА22.

На рисунке 21 в верхних графиках (А и Б) прослежены отклики полей ВА21, ВА23, ВА24, ВА32, ВА39 и ВА40 в ответ на тестовые изображения.

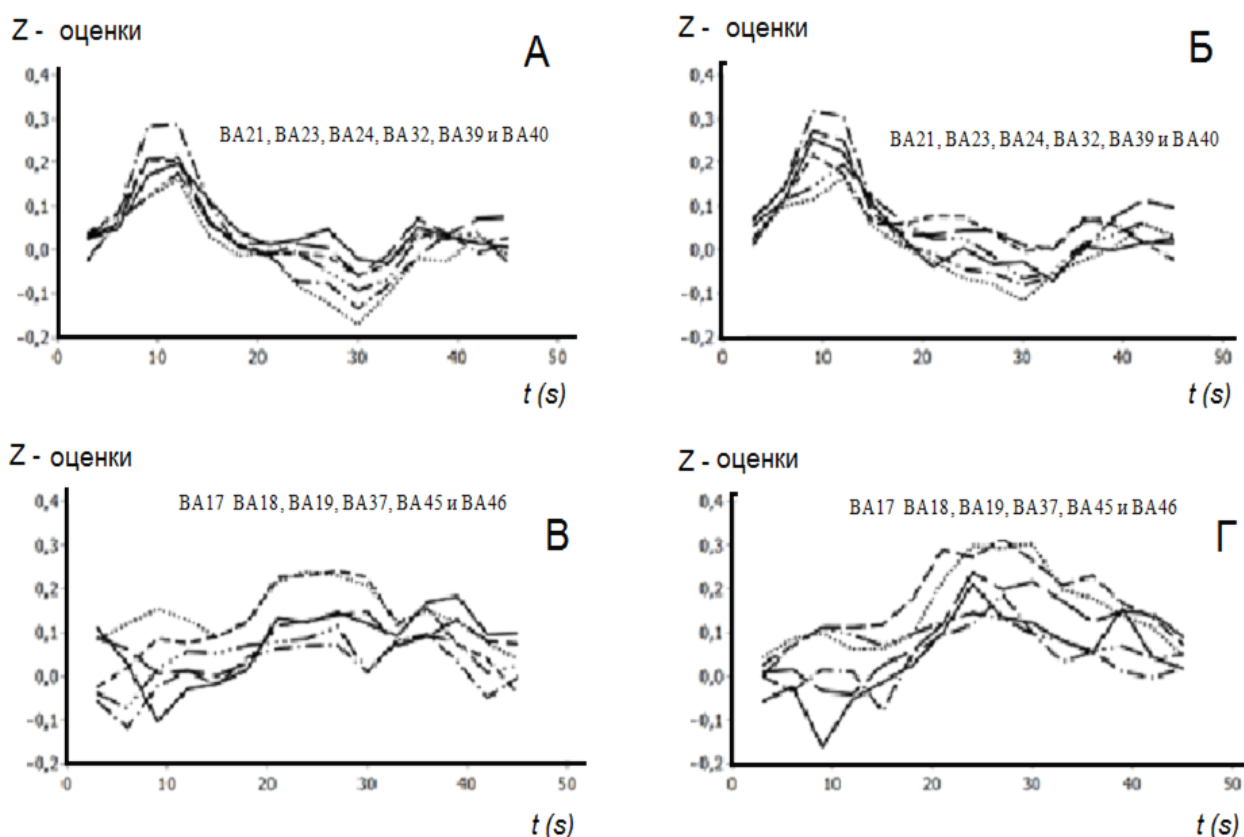


Рис. 21. А, Б - Реакции внимания на начало предъявления первых фрагментов контура тестового изображения в ВА21, ВА23, ВА24, ВА32, ВА39 и ВА40 (первый отклик). В, Г - Отклики в момент распознавания контура тестового изображения, совпадающего с возникновением состояния трактуемого как модель инсайта в ВА17, ВА18, ВА19, ВА37, ВА45 и ВА46. А и В - левое полушарие, Б и Г – правое полушарие.

По оси абсцисс - время $t(s)$ и соответствующей ему процент предъявления контура тестового изображения. По оси ординат - значение BOLD-сигнала в относительных единицах Z -оценки.

Видно (верхний ряд графиков – А и Б), что на стимул наблюдается активация всех зон, отмеченных как зоны интереса. Реакции отражают привлечение внимания при предъявлении первых зрительных сигналов. Нижний ряд графиков (В и Г) представляет отклики полей ВА17, ВА18, ВА19, ВА37, ВА45 и ВА46. Активация этих зон коры головного мозга наблюдается при распознавании изображения (ВА17, ВА18, ВА19, ВА37) и принятии решения (ВА45 и ВА46).

Проведение анализа результатов исследования требует обратить внимание на некоторые «побочные» изменения активности BOLD-сигнала, связанные с процедурой любого исследования фМРТ. На период подпорогового предъявления приходится первый известный подъем увеличения BOLD-сигнала (4-10 секунд от начала предъявления стимула). Этот подъем активности, по нашему мнению, не связан с порогом распознавания, отождествляемом с порогом «инсайта». Этот подъем активности наблюдается во многих зонах и развивается всегда в одно и то же время при любой стимуляции. Для большинства зон в этот момент характерно наличие активации, связанной с вниманием. Это преимущественно теменные и лобные зоны (ВА7 и ВА8, ВА9). В затылочных зонах (ВА17, 18) наблюдается торможение. В затылочно-височных областях изменения в виде активации или торможения не наблюдается (ВА37).

В данной работе впервые рассмотрены основные нейрофизиологические механизмы достижения порога по данным изменения BOLD-сигнала на основании разницы этого сигнала в покое, при подпороговой стимуляции; при стимуляции в момент достижения порога распознавания и при стимуляции после достижения порога и снятия неопределенности. Это удалось сделать за счет растянутой во времени поэлементной стимуляции.

Таким образом, методом фМРТ удалось показать, что существуют значимые различия общей активации головного мозга в период достижения порога распознавания (инсайта) в условиях неопределенности по сравнению

с подпороговой и надпороговой стимуляцией и состоянием покоя. В частности, во время порога распознавания фрагментированного изображения, в момент возникновения инсайта, в одних зонах мозга BOLD-сигнал достигает своего максимума, а в других, оппонентных ему – своего минимума. Кроме того, ярко прослеживается функциональная асимметрия полушарий коры.

Результаты анализа, полученных методом фМРТ, данных позволяют говорить о том, что метод фМРТ в условиях предложенной в данной работе динамической стимуляции, информативен и представляется эффективным методом изучения нейрофизиологических механизмов инсайтных решений. Он позволяет успешно: изучать очаги активации мозга в момент возникновения инсайта, а также на различных стадиях его развития и процесса принятия решения; осуществлять нейровизуализацию сложных нейронных сетей, обеспечивающих решение сенсорно-когнитивных задач.

3.4. Межполушарные различия в активации нейронных сетей в момент возникновения инсайта

Сравнение локальной активности левого и правого полушарий головного мозга (по выбранным «зонам интереса») проводилось методом двухкомпонентного t-теста (t-критерий Стьюдента, $p < 0.001$).

Рассмотрим парный t-тест для левого и правого полушарий. Полные данные представлены в Приложении №1. Отдельно результаты активации полей ВА37, ВА7, ВА9, ВА13 и ВА17 коры левого и правого полушарий представлены на рисунках 22–26. Ромбиками отмечены статистически значимые отличия.

Данные свидетельствуют, что доминирование активности в правом полушарии статистически значимо в ВА9 фронтального мозга (рисунок 24). Для поля ВА13 (рисунок 25) характер соотношения совершенно другой. В то же время, следует обратить внимание на то, что практически весь «правый мозг» при решении данной задачи более активен, чем левое полушарие.

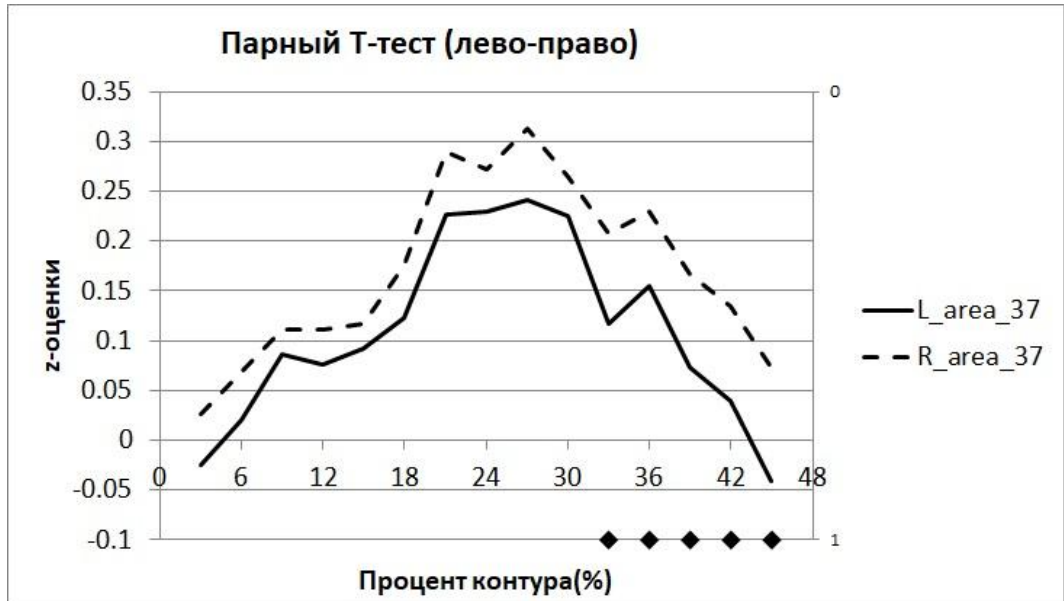


Рис. 22. Зависимость изменения значений парного Т-теста в затылочной области в зоне ВА37 от величины представления контура в процентах. По оси абсцисс: процент контура; по оси ординат: значение BOLD-сигнала в относительных единицах. Ромбы указывают значимые отличия.

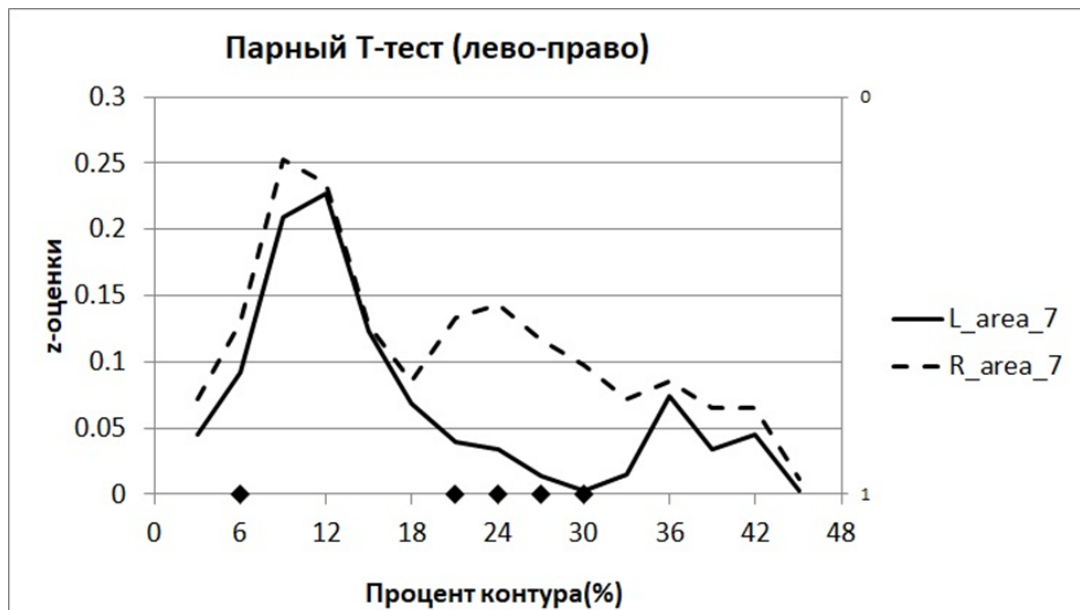


Рис. 23. Зависимость изменения значений парного Т-тест в медиальной области теменной коры в зоне ВА7 от величины представления контура в процентах. По оси абсцисс: процент контура по оси ординат: значение BOLD-сигнала в относительных единицах. Ромбы указывают значимые отличия.

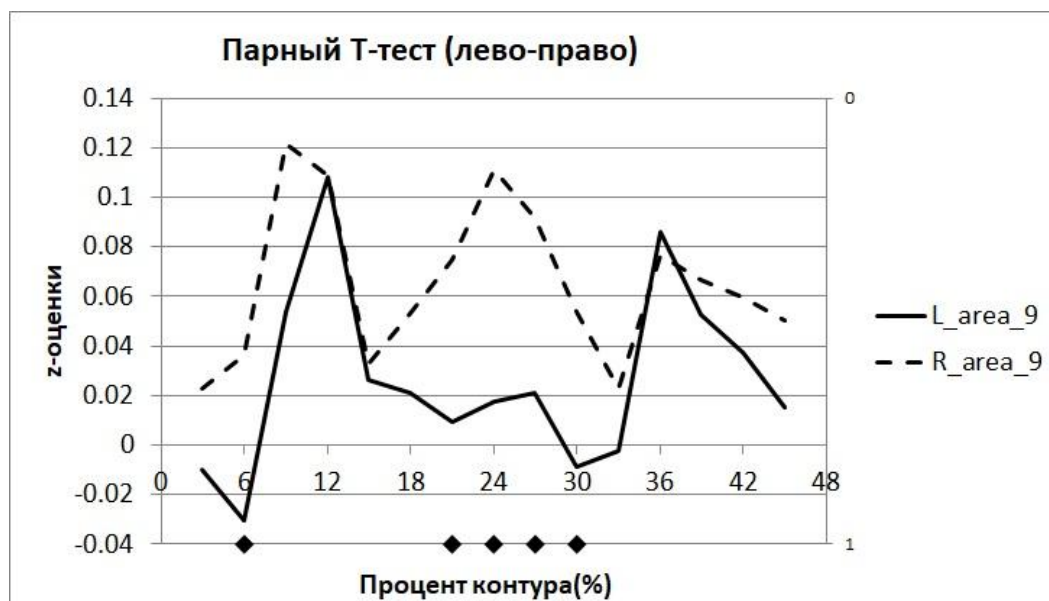


Рис. 24. Зависимость изменения значений парного Т-теста в лобной области в зоне ВА9 от величины представления контура в процентах. По оси абсцисс – процент контура; по оси ординат - значение BOLD-сигнала в относительных единицах. Ромбы указывают значимые отличия.

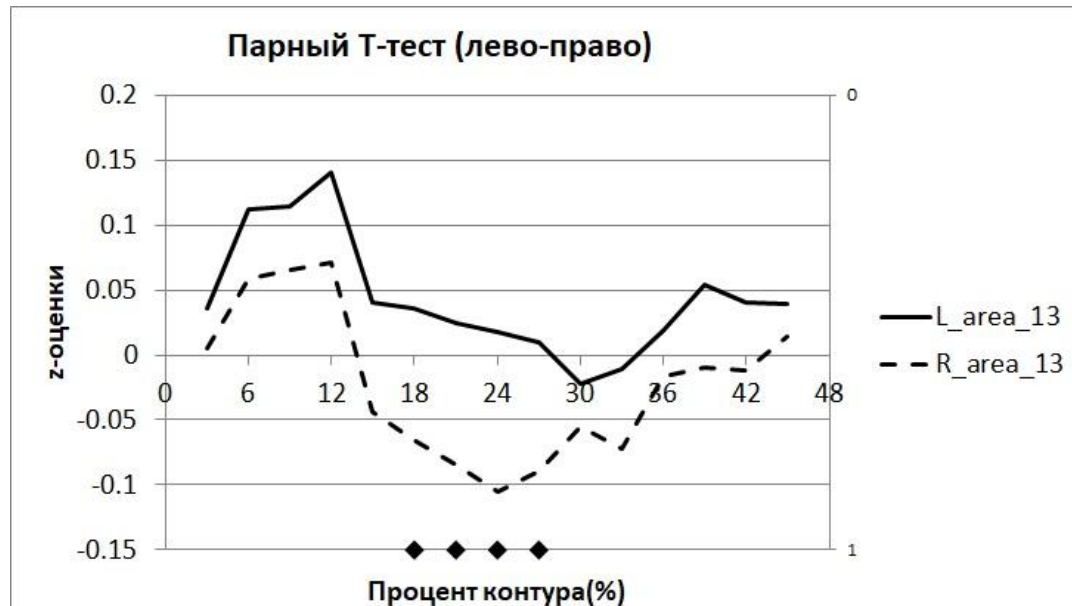


Рис. 25. Зависимость изменения значений парного Т-теста в зоне ВА 13 от величины представления контура в процентах. По оси абсцисс – процент контура; по оси ординат - значение BOLD-сигнала в относительных единицах. Ромбы указывают значимые отличия.

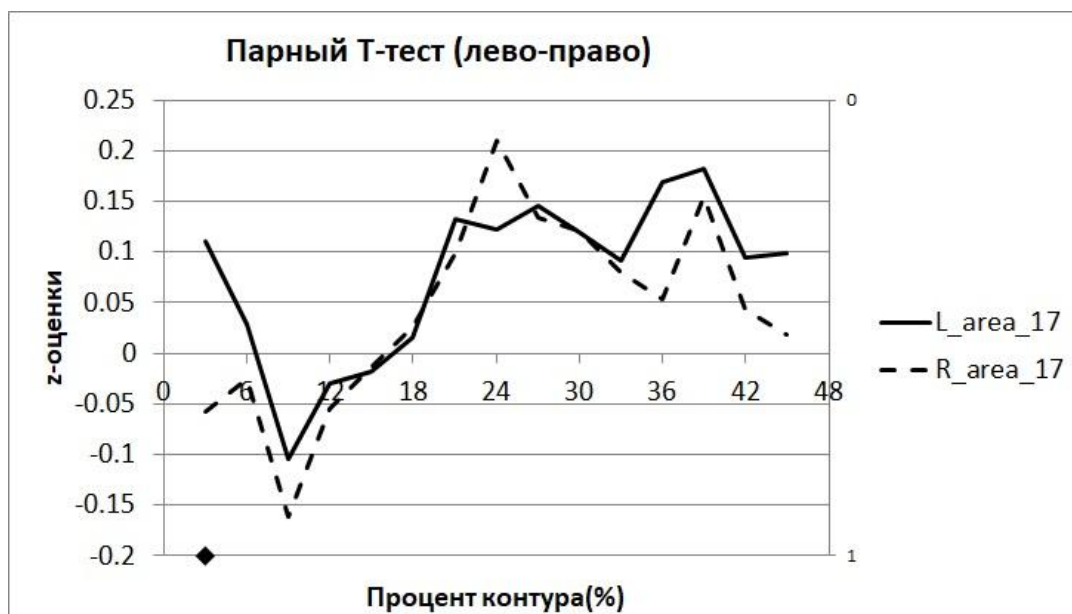


Рис. 26. Зависимость изменения значений парного Т-теста в затылочной области в зоне ВА 17 от процента представления контура.

По оси абсцисс – процент контура; по оси ординат - значение BOLD-сигнала в относительных единицах. Ромбы указывают значимые отличия.

Данные, представленные на рисунках подтверждают, что практически во всех рассмотренных выборочно зонах при проведении Голлин-теста величина отклика правого полушария больше, чем левого. Изменения в левом и правом полушариях по этим зонам коры при предъявлении большого числа фрагментов контура Голлин-теста (36%-42% предъявления) происходят почти однотипно.

Совершенно другая картина разворачивается в правом и левом полушариях в момент инсайта. В теменной коре (зона ВА7) и в лобной коре (зона ВА9) при предъявлении 20-30% контура тестовых изображений наблюдается значимая активация в правом полушарии и снижение активности в левом полушарии. Важно отметить, что такая картина активации в полушариях одних и тех же цитоархитектонических зон по Бродманну наблюдается именно в момент инсайта. В то же время, значимых межполушарных отличий в момент инсайта не наблюдалось в затылочной коре в зоне ВА37, хотя изменение BOLD-сигнала в момент инсайта здесь

было максимальным по сравнению с остальными областями коры. Обращает на себя внимание, реакция зоны ВА13 (часть инсулы) в момент порога распознавания: и в правом, и в левом полушариях в этой зоне развивалось торможение, причем в правом полушарии гораздо более выраженное, чем в левом. Особый интерес представляют также отклики моторной и соматосенсорной коры. Эти данные представлены на рисунке 27. Известно, что даже в состоянии покоя, всегда присутствует отклик мышц в ответ на предъявление стимула, во время решения задачи и т.д. В данном случае наблюдаются периодические отклики мышечной и проприорецептивной систем, в которых различимы три волны, совпадающие со всеми фазами исследуемого процесса: до-, во время- и после- инсайта. При этом максимальное изменение наблюдается именно во время инсайта.

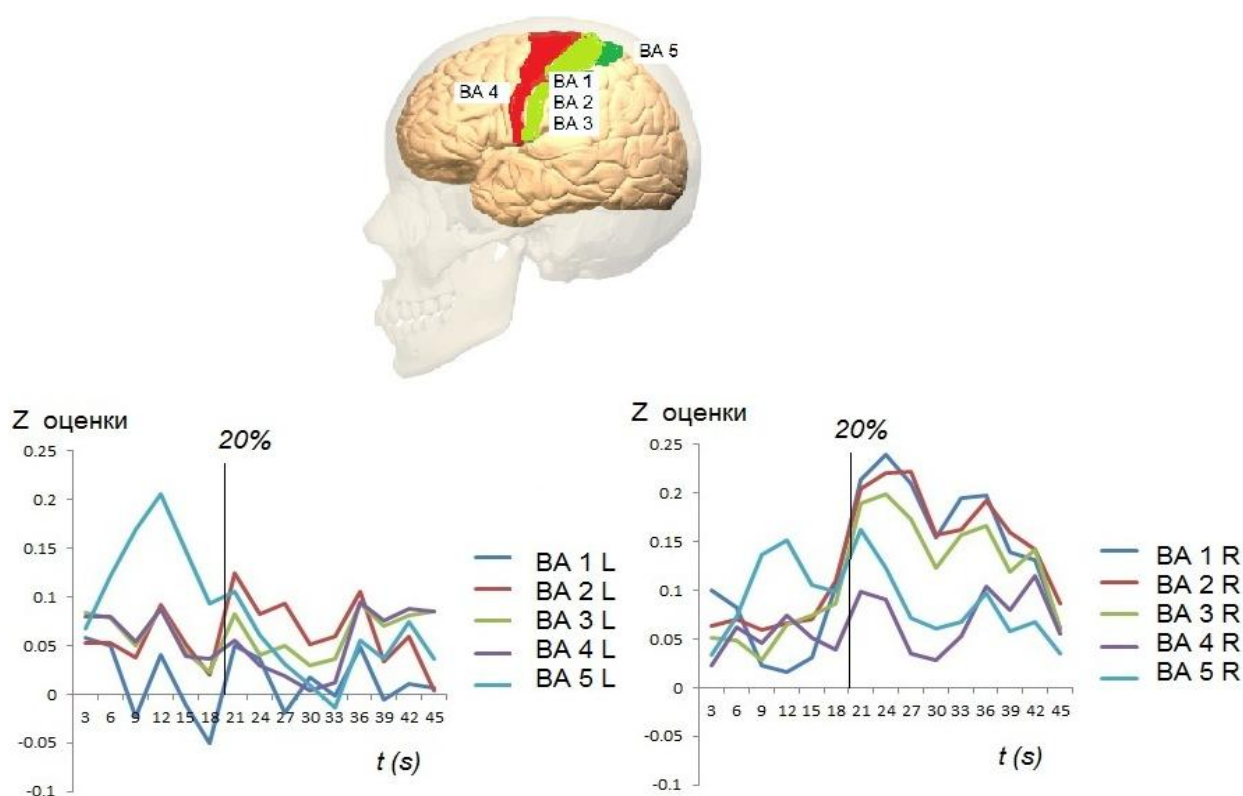


Рис. 27. Отклики полей двигательных ВА4 и соматосенсорных ВА1, ВА2, ВА3, ВА5 областей мозга на предъявление контура тестового изображения (в процентах). Левое полушарие (слева) и правое полушарие (справа). По оси абсцисс - время $t(s)$ и соответствующей ему процент предъявления контура тестового изображения. По оси ординат - значение BOLD-сигнала в относительных единицах.

Подводя итог этой серии данных, отметим, что при достижении порога распознавания наибольшие межполушарные отличия наблюдаются в зонах ВА7, ВА9 и ВА13. В момент начала предъявления стимула, в до-пороговом состоянии, межполушарные отличия выявлены только в зоне ВА7.

В ВА37, как мы уже отмечали, зафиксирован максимальный, по сравнению со всеми другими зонами мозга, ответ в момент развития инсайта в обоих полушариях. При этом значимых межполушарных различий на этапе возникновения инсайта в ВА37 не обнаружено. Они появляются и достигают значимости уже в после-пороговом состоянии - в период от 30 до 45 с после инсайта. Причем в остальных зонах статистически значимых межполушарных различий в постинсайтный период не наблюдается.

Таким образом, методом фМРТ удалось: выявить пространственно-временные показатели активности практически всех основных областей мозга, показать реакции всего мозга на зрительную стимуляцию; обнаружить области повышения и области понижения активностей некоторых областей коры головного мозга (оппонентные взаимосвязи); показать межполушарные различия в активации нейронных сетей и их перестройку в разные периоды развития инсайтного решения и в момент возникновения инсайта.

ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

4.1. Обсуждение метода моделирования и исследования возникновения инсайта в процессе распознавания формы изображения с возможностью измерения порогов распознавания

Задача первого этапа исследования состояла в том, чтобы на основе процесса распознавания формы изображения в условиях неопределенности разработать технологию моделирования инсайта и провести проверку взаимосвязи порогов распознавания с эмоциональными составляющими моторного отклика (ответа испытуемого).

Решение этой задачи было необходимо для обеспечения возможности изучения нейрофизиологических механизмов инсайта, так как отсутствовала признанная исследователями, адекватная модель этого феномена. Классические поведенческие опыты Торндайка и Скиннера по открыванию животными проблемного ящика трудно рассматривать в качестве методической основы изучения и моделирования инсайта, хотя некоторые внешние аналогии с ним присутствуют.

Мозг высших животных и человека в процессе эволюционного развития был, вероятно, приспособлен к возможной дихотомии в решении задач. При определенных условиях и в силу определенных причин он может выбирать одну из двух основных стратегий достижения результата – догадка (озарение) или анализ. У человека аналитический способ решения находится под строгим когнитивным контролем, в него вовлечена внутренняя речь и механизмы, обеспечивающие осознаваемые процессы логического мышления, опирающегося на знания. Однако это не означает, что многие задачи, например, по математике, физике или русскому языку не могут решаться методом озарения. В школе учитель часто может услышать внезапное эмоциональное восклицание ученика и увидеть моментально решенную задачу после длительных раздумий и возможных неудач. Наглядно это проявляется и при игре в шахматы, когда даже опытные игроки, хранящие в памяти тысячи решений тех или иных комбинаций, в новой необычной ситуации внезапно принимают необычное и неожиданное

решение. Инсайт в шахматной игре ярко проанализирован в работах Д.В. Ушакова и Е.А. Валуевой (Валуева, Ушаков, 2017).

Решение задачи путем инсайта должно возникать на базе накопленных ранее, но неосознаваемых данных, скачкообразно, как «порядок из хаоса». Долгое время для этого использовали экспериментальные задания по типу «девятиточечной задачи» (Scheerer, 1963; Weisberg, Alba, 1981; MacGregor et al., 2001; Kershaw, Ohlsson 2004). Однако в последние годы этот подход подвергался серьезной критике, поскольку моделировал не столько феномен инсайта, сколько проблему смены инструкции испытуемому (Chi, Snyder, 2012). Были также предложены другие варианты тестов в виде коротких задач, моделирующих возникновение инсайта в зависимости от направления интересов экспериментатора (Bowden, 1997; Mednick, 1962; Bowden, Jung-Beeman, 2003b; Kounios et al., 2008). Однако для успешного исследования механизмов и нейрофизиологической основы этого феномена таких задач было недостаточно, требовалось создание экспериментальной модели инсайта с возможностью объективных измерений его характеристик.

Задача осложнялась тем, что инсайт – это динамический процесс, состоящий из этапа предварительного накопления информации (в психологической литературе - инкубации) и момента решения задачи (озарения). Поэтому разрабатываемая модель должна была представлять эти этапы развития инсайта и не иметь критической зависимости от опыта и интеллектуального уровня испытуемого.

В современных исследованиях инсайт часто рассматривается как деятельность мозга в процессе распознавания, а не выполнения какого-либо задания. Хотя озарение при распознавании отличается от процессов, ответственных за генерацию решений, следует отметить, что у них есть важное преимущество - они принципиально не могут быть отождествлены с аналитическими решениями проблемы. Эта точка зрения основана на ставших классическими исследованиях Роберта Гесса (Канада) и Дэвида Филда (США), показавших возможность моделирования инсайта в процессе

зрительного распознавания фрагментированного объекта как целого в условиях помехи (Hess, Field, 1999).

При таких условиях восприятия, испытуемые, как правило, испытывают озарение при достижении момента распознавания (Field et al., 1993; Hess, Field, 1999; Ludmer et al., 2011; Luo et al., 2011; Metuki et al., 2012). В предложенной методике, озарение предполагало целостное решение задачи и построение гештальта из разрозненных элементов. Выход неосознаваемых, подсознательных процессов на осознаваемый уровень принятия решений (распознавания) служил психологическим основанием для проявления инсайта. Это и показали Филд и Гесс с помощью метода, построенного на знаниях об организации и работе нейронных сетей зрительной коры. Однако, как отмечалось ранее, это была демонстрация явления, но не полноценный экспериментальный метод, позволяющий осуществлять измерения порогов и характеристики возникновения инсайта. В то же время авторы предприняли попытку связать проявления эффекта с нейрофизиологическими механизмами зрительного восприятия. На основе собственных результатов моделирования взаимодействий в первичной зрительной коре, они показали возможность восстановления контура за счёт внутрикорковых горизонтальных связей (Field, Hayes, 1993; Hess, Field, 1999). Предложенное ими объяснение инсайта только за счет формирования коротких межмодульных связей в поле VА17, вызывает возражения. Стимулы в виде фигуры «змеи», примененные этими авторами, оптимальны для демонстрации взаимодействия в пределах стриарной коры, так как в этих стимулах один фрагмент следует за другим. Если «змея» неколлинеарна, а человек ее, хоть и с трудом, но видит, требуется другой механизм, объясняющий построение змеи из неколлинеарных элементов. Поэтому нужна была другая методика, которая и была предложена в нашей работе (Шелепин и др., 2015; Шелепин, 2017).

Ее основой стал Голлин-тест (Foreman, Hemmings, 1987; Chikman et al., 2011; Шелепин и др., 2015), который традиционно использовали как способ исследования памяти и агнозии. В нашей работе его компьютеризованная

версия рассматривается как возможность организации последовательного перехода от условий неопределенности восприятия к условиям распознавания, а достижение порога распознавания – как модель инсайта.

В этом отношении Голлин-тест представляет особый интерес. Он активно вовлекает наблюдателя в процесс построения целостного образа из кажущихся разрозненными, на первых этапах восприятия, элементов. При низком проценте заполнения контура у наблюдателя появляются варианты его мысленного дополнения – ситуация множественного выбора гипотез. Приближение к порогу оказывается сходным с приближением к точке бифуркации, когда незначительное приращение сразу меняет всю ситуацию. В нашем случае, происходит внезапное распознавание в условиях восприятия еще далеко не полного контура изображения.

На рисунке 28 представлена демонстрация изменения степени фрагментации изображений и снятия неопределенности в Голлин-тесте.

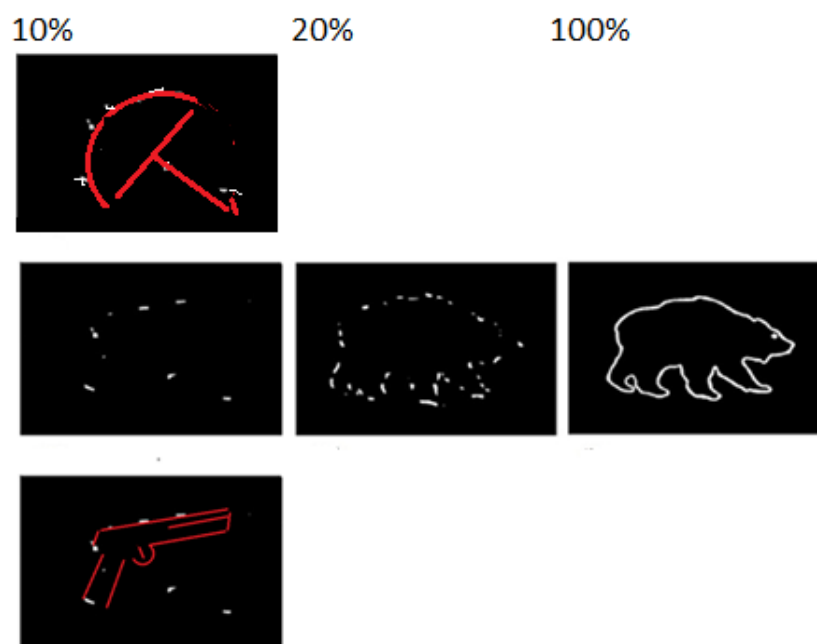


Рис. 28. Демонстрация степени фрагментации контурных изображений в компьютеризированном Голлин-тесте.

10% контура - полная неопределенность при первой работе с данным алфавитом (ситуация множества гипотез), 20% - внезапное распознавание (отождествленное с инсайтом).

Минимальная длина (%) контура, при которой наблюдатель преодолевает неопределенность и формирует целостный образ - представляет собой пороговый уровень распознавания. Он зависит от ряда условий:

- во-первых: от характеристик стимула и условий стимуляции, знакомства с алфавитом стимулов, их сложности, скорости предъявления фрагментов и т.д.

- во-вторых: от функционального состояния наблюдателя, уровня его внутреннего шума, внимания и возраста (считается, что наиболее плохие результаты наблюдаются в дошкольном и пожилом возрасте).

Результаты проведенного с применением Голлин-теста психофизиологического исследования показал, что достижение, в среднем (для разных формируемых объектов и для разных наблюдателей) 20% длины контура соответствует порогу распознавания, при котором инаблюдатель получает возможность опознать объект и принять осознанное решение. Снятие неопределенности (решение задачи распознавания) сопровождается выраженной положительной эмоциональной реакцией, что подтверждено данными интроспекции.

В нашем исследовании Голлин-тест позволил также обеспечить объективный контроль внимания с помощью фиксации направления взгляда испытуемого методом видеоокулографии (айтрекинга). Напомним, что слежение за движением глаз имеет долгую историю использования в качестве информативного параметра при изучении сенсорных и когнитивных процессов (Gallese et al., 1996; Rayner, 1998; Richardson, Spivey, 2004; Holmqvist, Andersson, 2017). В современной психологии, физиологии и медицине, методы фиксации движения глаз помогли получить важные результаты в исследованиях чтения, устной речи, восприятия зрительной сцены, зрительной памяти, слепоты к изменениям в стимуляции и др. (Brandt, Stark, 1997; Rayner, 1998; O'Regan et al., 1999; Richardson, Spivey, 2004; Шелепин, 2017; Holmqvist, Andersson, 2017; Ефимова, Николаева, Огородникова, 2018).

Таким образом, теоретическое обоснование и результаты апробации подтвердили адекватность выбранной модели инсайта как порога распознавания неполных изображений в условиях неопределенности. В методическом плане она обладает рядом преимуществ:

- достаточно легко воспроизводится в эксперименте,
- обеспечивает проявление основных периодов и атрибутов инсайта;
- предполагает возможность объективного контроля внимания;
- допускает проведение количественных измерений;
- создает основу для изучения нейрофизиологических механизмов развития инсайта в до-пороговый (прединсайт), пороговый (инсайт) и надпороговый (постинсайт) периоды решения задачи.

Успешное завершение первого этапа исследования и эмпирическая проверка предложенной модели инсайта с измерением величины порога порога распознавания ($20 \pm 5\%$ длины контура) позволили перейти к основной части работы, посвященной исследованию нейрофизиологических механизмов

4.2. Обсуждение результатов апробации методики и исследования активности мозга методом фМРТ при распознавании в условиях неопределенности в момент развития и возникновения инсайта

Большая часть работ по нейрональной основе понимания инсайта, характерная для исследований на заре развития когнитивных нейронаук, касалась обнаруженных и сформулированных различий в работе полушарий головного мозга.

Межполушарная асимметрия и межполушарные взаимодействия представляют значительный интерес для понимания работы мозга. Но без современных методов нейровизуализации их чрезвычайно трудно исследовать. Каждое из полушарий головного мозга человека обладает функциональной специализацией. Общепризнанное мнение – правое полушарие отвечает за образно-творческую работу, а левое полушарие

связано с абстрактным мышлением, символической деятельностью. Информация, поступающая в каждое из полушарий, неодинаково используется для принятия решений (Мосидзе и др., 1977; Брагина, Доброхотова, 1988; Глезер 1995; Невская, Леушина, 1990; Черниговская и др., 2000; Hutsler, Galuske, 2003; Babenko et al., 2016).

Результаты проведенных нами исследований коррелируют с полученными ранее литературными данными относительно структурно-функциональной организации зрительной функции в аспекте межполушарной асимметрии (Carlson, Glick, 1989; Глезер, 1995).. В этих работах отмечалась сложность исследования принципов специализации полушарий и акцентировалась значимость их взаимодействия для успешной работы зрительной системы, что остается актуальным и в настоящее время.

Важно отметить, что, говоря о функциональной асимметрии зрительной системы, авторы иногда обращают внимание на ведущую роль одного глаза. Однако, наличие хиазмы и неполного перекреста путей, идущих от каждого из глаз, усложняют ситуацию. Изучение межполушарной асимметрии в связи процессами опознания неполных изображений и процессами на периферии зрительного поля имеет высокую востребованность, обусловленную запросами практики. Имеется в виду профессиональная деятельность операторов, принимающих решения на основе зрительной информации и, в частности, той, которая воспринимается периферией зрительного поля. Но вместе с тем исследования опознания неполных изображений актуальны для фундаментальной теории, поскольку позволяют моделировать процессы принятия поведенческих решений в условиях дефицита полезной информации (Iacoboni et al., 2004).

Принципы интеграции сенсорной информации при опознании неполных изображений были обстоятельно рассмотрены ранее (Шелепин и др., 2009). При этом были выделены алгоритмы использования локального и глобального описания изображений при опознании. Прежде всего, подчеркивалось значение «алфавита» изображений, создаваемого в процессе

обучения, а также роль глобального описания и локальных информативных признаков изображений. Благодаря последним признакам, повышается эффективность опознания. В этом обзоре приведен статистический алгоритм глобального связывания признаков, когда зрительная система рассчитывает статистические признаки изображений, после чего происходит согласованная фильтрация и осуществляется принятие решения. Важно иметь в виду, что формирование целостного образа происходит за счет интеграции фрагментов информации, распределенных в пространстве и времени.

Можно полагать, что зрительная система занимает главенствующее положение в интегративно-анализаторной системе, но при этом нельзя не замечать участия незрительных информационных фрагментов в монтаже полномасштабного целостного образа. К последним фрагментам относятся как специфические информационные сигналы (например, слуховые или обонятельные), так и неспецифические (активационные или эмоциогенные).

Полученные нами данные (Шелепин, Бондарко, 2002; Шелепин и др., 2009; Шелепин, 2017), а также исследования других авторов (Kounios, Beeman, 2014), выполненные на других моделях инсайта, указывают на доминирование правого полушария в обеспечении эффекта инсайта. Общеизвестна гипотеза В.Д. Глезера о двойной дихотомии мозга - правого и левого мозга, теменных и височных долей (Глезер, 1995). Полученные нами методом фМРТ данные об активности разных областей мозга подтверждают различие работы правого и левого полушарий. Они частично согласуются с гипотезой о наличии двух контралатерально расположенных механизмов мышления, различающихся по зависимости от эмоционального состояния. Но наши данные больше указывают на важность не противопоставления, а именно взаимодействия правого и левого полушарий, теменной и височной коры. Обычно считается, что передняя височная кора и нейроны правого полушария вовлечены в процессы озарения больше, чем нейронные сети левого полушария (Jacob et al., 1993; Scheibel et al., 1985; Seldon, 1981).

В проведенной работе установлена повышенная праволатеральная активность областей фронтальной коры в момент инсайта. Интересно отметить, что на основании доказательств участия правого полушария в интеграции отдаленных семантических связей в языке (например, St.George et al., 1999) эта асимметрия была предсказана ранее (Bowden, Beeman, 1998). Она базируется также и на теоретической основе, которая связывает роль правого полушария с более грубым семантическим кодированием, в отличие от левого полушария (Jung-Beeman, 2005). Асимметрия полушарий подтверждается нейропсихологическими и неврологическими наблюдениями, связанными с нарушением понимания в результате повреждения правого полушария головного мозга.

Согласно грубой системе семантического кодирования, когда читатели или слушатели сталкиваются со словом или концепцией, у них активизируется ментальное семантическое поле, связанное со словом: подмножество признаков, свойств и ассоциаций. Показано, что в левом полушарии активизируется относительно небольшое семантическое поле, которое наиболее тесно связано с доминирующей интерпретацией или с текущим контекстом. Напротив, в правом полушарии слабо активизируется более широкое семантическое поле, включающее признаки, отдаленно связанные с тестовым словом или контекстом (Chiarello, 1988; Chiarello et al., 1990). Несмотря на некоторые очевидные ограничения, более грубое семантическое кодирование в правом полушарии имеет одно большое преимущество - чем менее точно указано значение каждого слова, тем вероятнее, что это окажется важно для подключения связей и ассоциаций к другим словам и понятиям. Это ключевой компонент для выводов (Virtue et al., 2006, 2008), изложения сути (St.George et al., 1999), понимания образного языка (Mashal et al., 2008) и инсайта. Понятие «грубое семантическое кодирование» связывает асимметричную семантическую обработку, помимо некоторых асимметрий размера, в частности области коры (например, площадь зоны Брока и область Вернике), с асимметрией проводящих путей мозга. Эти различия влияют на то, как нейроны и нейронные сети связывают исходные данные (Hutsler, Galuske, 2003). Показано, что аксоны в правом полушарии в верхней

височной коре более длинные, чем в левом полушарии. И это также способствует более обобщенной обработке информации в правом полушарии (Tardif, Clarke, 2001). Такая нейроанатомическая асимметрия может способствовать смещению в правое полушарие процессов глобальной обработки и обеспечению грубого семантического кодирования. В левое полушарие смещаются процессы, которые ответственны за более тонкое и точное семантическое кодирование (Глезер, 1995; Jung-Beeman, 2005).

Таким образом, существует асимметрия описаний и асимметрия в архитектуре нейронных сетей, в размере дендритных ветвлений (с большой вероятностью влияющих на обработку информации). Асимметрии, которые существуют в языковых обработках, также должны иметь нейроанатомические основы. Так, принято считать, что анализ интонации и просодических характеристик, отражающих эмоции и состояние диктора (более общие по отношению к лексическим признакам), преимущественно осуществляется в правом полушарии (Черниговская и др., 2000). В последнее время, активно проводятся исследования, связанные с более детальным изучением работы крупных нейронных сетей, ответственных за восприятие (понимание) речи и речепроизводство (Ardila et al., 2016a). Известно, что за обеспечение этих функций отвечают такие области мозга как зоны Вернике и Брока. Новые исследования с применением метода фМРТ позволяют расширить эти представления. В частности, к сети «восприятия и понимания» речи, помимо центральных зон (BA21, BA22 и BA41, BA42), относят зоны BA20, BA37, BA38, BA39, BA40, вовлеченные в языковые ассоциации со словами и с информацией других модальностей – так называемая, расширенная область Вернике (Ardila et al., 2015; 2016a). В отношении сети, связанной с производством речи, выделяют расширенную область Брока, куда, помимо зон BA44, BA45, включены BA46, BA47 и частично BA6. Она имеет преимущественно левосторонние связи, но есть и взаимоотношения с симметричной областью (BA44, BA45, BA46) правого полушария, возможно включенной в сеть, участвующую в обеспечении невербальной коммуникации (Ardila et al., 2015; 2016b).

Хочется отметить, что исследование взаимосвязи между нейронными микросхемами и более высокими когнитивными функциями до сих пор, к сожалению, остается мало разработанной областью (Keuken, Müller-Axt, Langner, Eickhoff, Forstmann, Neumann, 2014). В последние годы, к ее изучению все более широко привлекаются методы нейровизуализации.

Исследования нервных коррелятов инсайтного решения были проведены с использованием как методов МРТ, так и ЭЭГ высокой плотности в экспериментах, максимально приближенных к требуемой процедуре исследования инсайта (Jung-Beeman et al., 2004). Были подтверждены, полученные ранее другими методами, данные о том, что более весомый вклад в явление инсайта, по сравнению с аналитическим решением задач, вносит именно правое полушарие головного мозга.

В исследованиях инсайта важно, что его нейронный коррелят должен определиться в момент (или непосредственно перед моментом) осознания решения. Кроме того, важно знать, соответствуют ли нейронные корреляции происходящим в мозгу событиям до-, после-, или в момент решения задачи путем озарения. Методом ЭЭГ было показано, что в тот момент, когда человек решает проблему по типу инсайта, фиксируется всплеск высокочастотной гамма активности над правой височной долей (в противоположность ситуации с решением задач аналитическим путем). Всплеск активности гамма-полосы в правой височной доле подтвердил полученные ранние данные для зрительного восприятия (Beeman, Bowden, 2000; Bowden, Beeman, 1998; Bowden, Jung-Beeman, 2003b).

В нашей работе, одним из важнейших фактов, установленных при проведении нейрофизиологического исследования инсайта, стала демонстрация того, что принятие решения в условиях инсайта обеспечивается не отдельным блоком мозга, а сложной сетью взаимоотношений, главным образом теменной височной и затылочной коры, а также оппонентными взаимодействиями префронтальной коры с передними отделами поясной извилины.

4.3. Закономерности перестройки крупномасштабной нейронной сети при распознавании в условиях неопределенности и возникновении инсайта

В начале исследований феномена инсайта методами фМРТ была выявлена мозговая активность в правой височной области. Это была единственная область, дающая статистически значимый результат. Слабая активность обнаруживалась еще в ряде областей, включая двусторонний гиппокамп и парагиппокампальную извилину, переднюю и заднюю поясную кору. Было также обнаружено изменение кровотока в медиальной правой передней верхней височной извилине (Jung-Beeman et al., 2004).

С помощью анализа ЭЭГ были также показаны отличия инсайтного и аналитического способов решения задач (рисунок 29). Это был очень важный результат, демонстрирующий разницу в изменениях активности мозга при инсайте и при аналитическом способе решения задач. Установлено, что аналитический способ не вызывает такой мощной синхронизации всех областей мозга как инсайт.

Эти данные сопоставимы с нашими данными о значимом изменении числа активированных вокселей до-, во время- и после- инсайта, наглядно проиллюстрированном на рисунке 13 (в разделе 3.3.2.1).

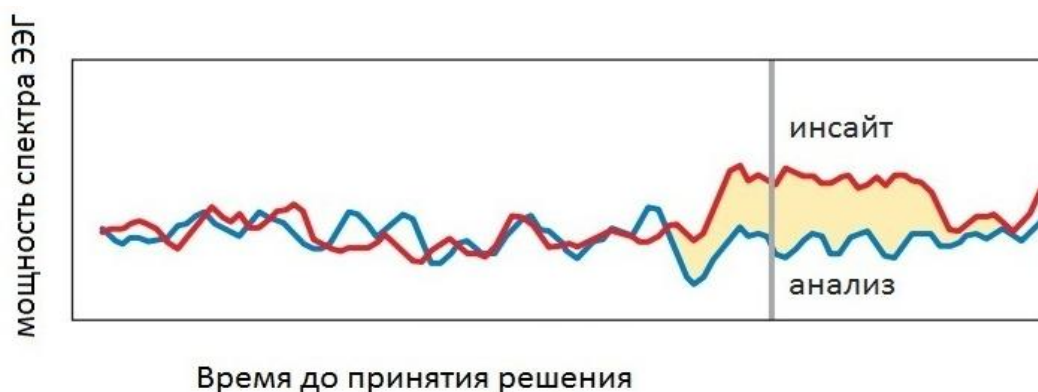


Рис. 29. Изменение суммарной мощности спектра ЭЭГ до и во время развития инсайта, по сравнению с монотонным изменением ЭЭГ при аналитическом способе решения задач (по: Kounios, Beeman, 2014).

Кроме того, показано, что до-, во время-, и после- инсайта происходит взаимоопонентное изменение активности в разных областях, принадлежащих к нейронной сети «покоя» ВА7, и нейронной сети распознавания - ВА37.

Для сравнения, эта, установленная нами закономерность, представлена на рисунке 30 вместе с результатами работы (Kounios, Beeman, 2014).

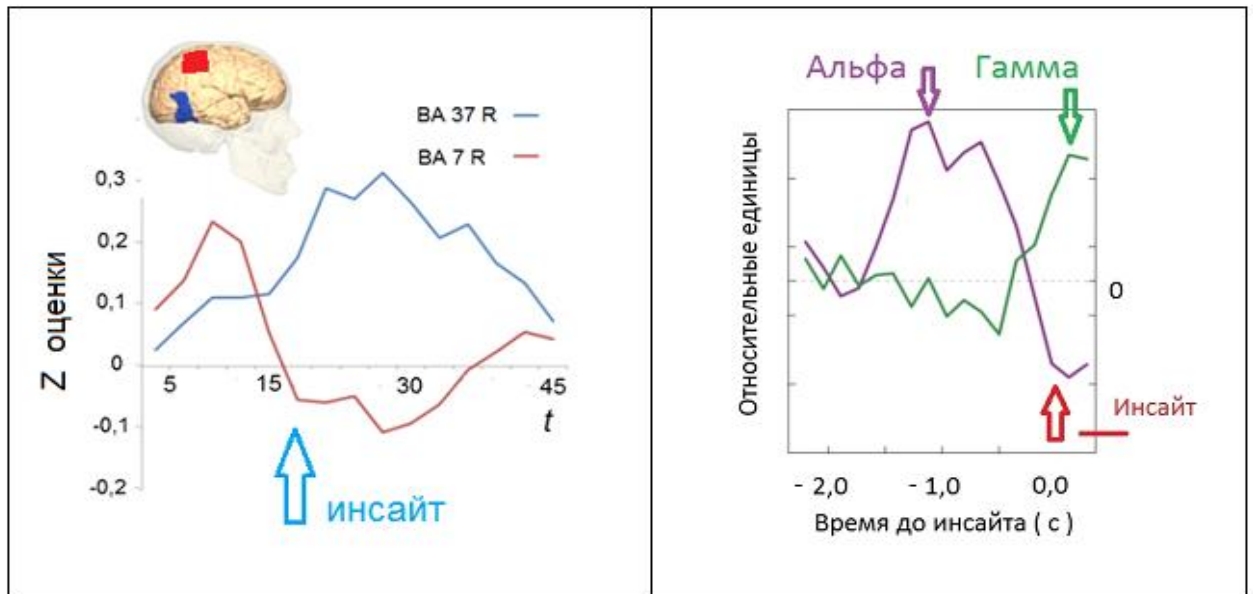


Рис. 30. Сравнение изменения BOLD-сигнала перед; во время; и после развития инсайта с изменением относительной мощности ЭЭГ в диапазоне альфа и в диапазоне гамма частот (слева: данные настоящего исследования, справа: данные, полученные в работе - Kounios, Beeman, 2014). По оси абсцисс – время t(s) и численно соответствующий ему процент контура. По оси ординат Z-оценки.

Можно видеть, что за 2 секунды перед инсайтом возрастает альфа активность мозга, затем она снижается, а в момент инсайта достигает минимума. По нашим данным, за 7 секунд перед инсайтом возрастает активность в теменной зоне, обеспечивая синхронизацию всего мозга - некий аналог внимания.

По данным (Kounios, Beeman, 2014) активность мозга в гамма диапазоне возрастает непосредственно (менее чем за 0,5 с) перед возникновением инсайта, а в момент инсайта достигает своего максимума.

Момент развития инсайта происходит при выраженном изменении частот ЭЭГ. Эти данные идеально сопоставимы с нашими данными: оппонентные изменения в спектре ЭЭГ до-, во время-, и после- инсайта (Kounios, Veeman, 2014) аналогичны оппонентным изменениям BOLD сигнала, представленным в нашей работе при описании результатов. Однако можно отметить и некоторые различия.

Инсайт, по данным этих авторов, развивается преимущественно в «правой височной доле». Инсайт-зависимые изменения BOLD сигнала, как проявления активности мозга, происходят в правой передней верхней височной извилине (фМРТ). А инсайт-зависимые изменения гамма частот в спектре ЭЭГ в другом месте - над правой височной областью (рисунок 31).

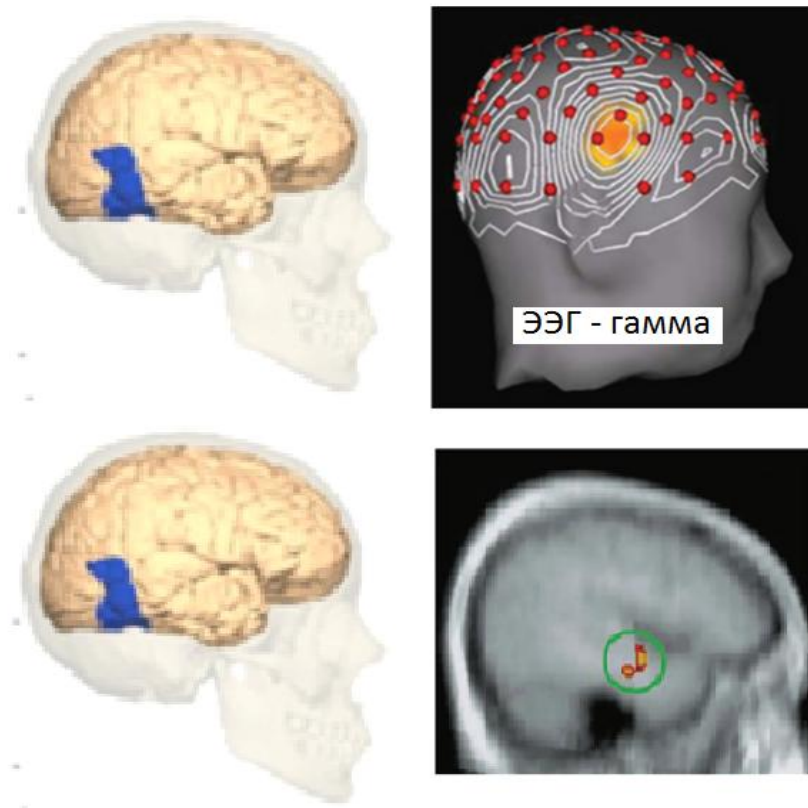


Рис. 31. Локализация максимальных изменений ЭЭГ и фМРТ в момент инсайта по данным (Kounios, Veeman, 2014) и расположение 37 поля по Бродманну (BA37), изменения BOLD-сигнала в котором максимальны в момент инсайта по данным нашего исследования (слева).

Локализации максимальных изменений ЭЭГ и локализация максимальных изменения BOLD сигнала фМРТ в момент инсайта, представленные из работ (Kounios, Veeman, 2014), создают впечатление, что они расположены в разных местах коры, хотя и не очень далеко. Максимальные изменения ЭЭГ находятся выше сильвиевой борозды, примерно в области BA40, а максимальные изменения BOLD сигнала - ниже, в районе средней верхней височной извилин (BA21 и BA22). На рисунке 31 дано сравнение данных (Kounios, Veeman, 2014) с демонстрацией нейрональных коррелятов инсайта в средней части средней и верхней височных извилин и данных, полученных в нашей работе.

В нашей работе придается большое значение задней части нижней и средней височных извилин (зона BA37), где изменения активности были установлены как значимые и максимальные в момент возникновения инсайта. Куниус и Биман придают большее значение средней части средней и верхней височных извилин (BA22, BA21). При обработке наших результатов мы выделяли разные зоны мозга по Бродманну, но наиболее интересные изменения и наиболее соответствующие психофизическим измерениям - моменту возникновения порога распознавания в условиях неопределенности - были обнаружены в BA37. Куниус и Биман в других условиях стимуляции и моделирования инсайта установили, как наиболее интересные с их точки зрения, зоны близкие к нашим, но другие. Эти области легко визуальны различны, но это может быть обусловлено двумя факторами.

Во-первых, представленная на схематическом рисунке 31 локализация BA37 дана при строгой ориентации головы в профиль (слева). Данные (Kounios, Veeman, 2014) на рисунке (справа вверху) даны при небольшом развороте головы от профиля (сбоку и сзади). Тем не менее, видно, что максимум повышения гамма активности происходит рядом, но ростральнее, чем расположена зона BA37, и попадает в область локализации минимума значения BOLD сигнала в наших исследованиях. Гамма активность попадает в область обработки слуховой информации. Поэтому, вторая причина может

быть обусловлена различиями в моделировании инсайта и особенностях дизайна исследования. Локализация максимального изменения фМРТ по данным (Kounios, Veeman, 2014) на рисунке справа внизу очень приближительна. Но и в наших исследованиях, и по данным (Kounios, Veeman, 2014), основные события происходят в ограниченной части затылочно–височно–теменной части коры, частично включая лобную долю.

По нашим данным, дорзальный отдел височной коры важен для начала развития эффекта связывания фрагментов в единое целое (гештальт), и это по Бродману ВА37. Согласно результатам проведенного исследования, именно зона ВА37 при антагонистическом взаимодействии с зоной ВА7 (медиальной частью, прекниусом) обеспечивает инсайт, что наглядно демонстрирует рисунок 17 (раздел 3.3.2.2). Эти зоны выражены и у животных хищников, и приматов.

Сильный ответ нейронной сети в правой передней височной области получен в ранней работе (Subramaniam et al., 2009), где он отражал отклик на эмоциональную реакцию. По нашим данным, в правой передней височной области (ВА38) действительно обнаружены выраженные изменения. Это видно из рисунка 32.

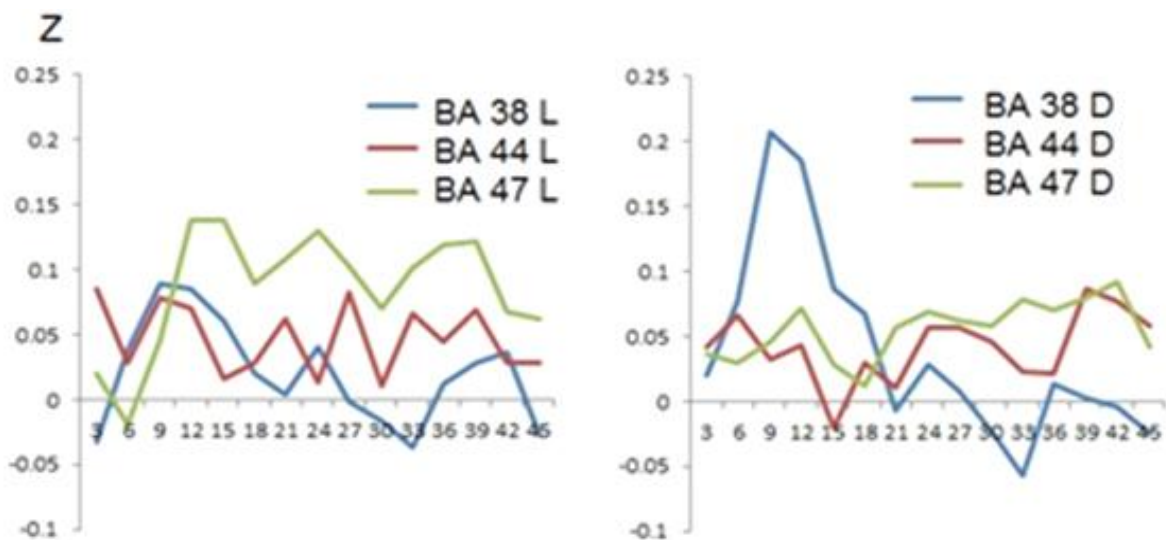


Рис. 32. Изменения значения BOLD сигнала в ВА38, ВА44, ВА47, полученные в наших исследованиях.

Из рисунка видно, что нижние фронтальные области практически не реагируют на данный тип сигнала, а зона ВА38 дает сильный неспецифический отклик на предъявление стимуляции именно в правом полушарии, как и было установлено в работе (Subramaniam et al., 2009).

Активируются и области, связанные с вниманием в условиях неопределенности. Например, это слуховая кора ВА22, в которой сразу после предъявления первых фрагментов изображения развивается активация, но после достижения порогового значения элементов контура наступает выраженное торможение. Эти результаты перекликаются с пионерскими работами С. Кравкова по межсенсорному взаимодействию (Кравков, 1948).

Теменная кора также представляет область, связанную с вниманием. У нее тесные связи с верхними буграми четверохолмия и пульвинар, обеспечивающими внимание на подкорковых уровнях. В теменных областях - в ВА7, в ее латеральной и в ее медиальной части, в прекуниусе хорошо выражена активация на начало стимуляции. После начала стимуляции происходит постепенное накопление фрагментов контура. Это накопление соответствует состоянию «инкубации» или преинсайту. Следующий за ним инсайт, связан с уменьшением активности в лобных долях головного мозга человека. Д.А. Фарбер и Н.Е. Петренко, методом регистрации связанных с событиями потенциалов, показали ведущую роль лобных областей на разных стадиях извлечения информации из памяти (Фарбер, Петренко, 2008), Е.С. Михайлова с коллегами показали гендерные различия в восприятии фрагментированных изображений (Mikhailova et al., 2012).

Но наиболее близкие электрофизиологические данные к результатам нашей работы были получены (Kounios, Beeman, 2014). Как уже обсуждалось, они установили, что перед возникновением озарения, в электроэнцефалограмме испытуемых доминирование альфа ритма сменяется доминированием гамма ритма.

Эти данные, полученные при тестировании другой модели инсайта, хорошо сочетаются с результатами наших исследований по выявлению

оппонентных отношений зон мозга, что отражают изменения гамма и альфа активности в теменно-височно-затылочной области.

Области мозга, активирующиеся в решении задач наблюдения можно разделить на две различные сети (Grafton, 2009). Первая сеть - это сеть наблюдения действий (AON – action observation network), состоящая из трех основных структур (Rizzolatti, Craighero, 2004; Rizzolatti, Sinigaglia, 2010): вентральной части премоторной коры (PMV), передней части нижней теменной доли (anterior inferior parietal lobule - aIPL) и дна верхней височной борозды (STS). В последние годы в результате исследования установили несколько дополнительных областей, входящих в «расширенную» часть сети наблюдения действий (Caspers et al., 2010). Данная система выделяется как наиболее значимая в интеграции сенсорно-моторной информации о действиях другого человека (Rizzolatti et al., 2004), а также для понимания взаимодействия объектов (Grafton, 2009; Iacoboni et al., 2004; Rizzolatti, Sinigaglia, 2008). Чаще всего эта сеть активируется в задачах, связанных с наблюдением и представлением различных моторных действий: стрельбы из лука, игры в бадминтон и баскетбол и т.д. (Abreu et al., 2012).

Вторая сеть – это «сеть сознания» (theory of mind, mentalizing system, social network). Она включает в себя медиальную префронтальную кору, височно-теменной стык (TPJ), реже - предклинье и заднюю поясную извилину (Van Overwalle, 2009; De Lange et al., 2008). Эти зоны образуют сеть и участвуют в социальном познании и взаимодействии, представлении себя и других (Grafton, 2009). В литературе паттерн, характерный для этой сети, образно отождествляемой с «сознанием», называют еще, как «сеть по умолчанию», и даже - «сеть базового режима» (McKiernan et al., 2003; Fransson et al., 2006). Установлено, что эти области демонстрируют высокий уровень активности во время, так называемого, «покоя» - периода «отдыха» испытуемых от активного решения задачи, чаще - базовой системы активности (фаза Baseline), состояния вне активации, или одного типа активации (чаще более простого) по сравнению с другим (более сложным). В

нашей работе мы сранивали момент порога с допороговым или послепороговым состоянием, и с состояниями до - и после - задаваемой нами зрительной стимуляции.

В работах по изучению инсайта электрофизиологическими методами было показано, что в момент инсайта, когда участники осознавали решение представленных задач путем инсайта, самый сильный ответ ЭЭГ наблюдается в гамма диапазоне. Его порождает нейронная сеть в правой средней и передней височной области. Эта же область участвует в других задачах, требующих семантической интеграции (St.George et al., 1999). Активность в гамма диапазоне спектра частот ЭЭГ была предложена как отражение работы механизма связывания информации по мере ее возникновения в сознании (Tallon-Baudry, Bertrand, 1999).

Гамма-ритмы (частота этих волн 26-100 Гц, иногда выделяют 35-40 Гц) играют важную роль в когнитивной обработке информации. В частности, гамма-ритм в диапазоне 30 Гц усиливается при предъявлении осмысленных слов в отличие от слов бессмысленных (Pulvermuller et al., 1996). Для слуховых, соматосенсорных и зрительных стимулов были выявлены пики гамма-ритмов на частотах 30, 40 Гц, 45, 55 Гц и 100, 110 Гц, соответственно. Считается, что эти волны представляют собой результат активности различных нейронов, объединенных в сеть для выполнения определенной работы.

По данным ЭЭГ установлен еще один неожиданный результат: гамма-диапазону сразу же предшествовал всплеск активности альфа-диапазона (10 Гц), регистрируемый преимущественно в правой затылочной коре (Jung-Beeman et al., 2004). Альфа волны (характерная частота от 8 до 12 Гц) выявляются, если человек закрывает глаза и находится в расслабленном состоянии. ЭЭГ-источники в диапазоне альфа ритма локализуются в первичных сенсорных зонах коры головного мозга. Но наиболее мощный источник этого ритма локализуется в первичной зрительной коре, т.е. в шпорной борозде и ее окрестностях. Интересно отметить, что именно в

момент альфа ритма мозг вырабатывает больше бета-эндорфинов и энкефалинов - гормонов положительных эмоций и радости. А при напряжении и решении задач растут более высокочастотные ритмы, и здесь особое внимание уделено гамма ритмам.

Тесное пространственное и временное соответствие результатов фМРТ и ЭЭГ (Jung-Beeman et al., 2004), позволило предположить, что эти изменения в феномене инсайта являются результатом активации одной и той же нейронной сети мозга. Этот согласованный разными методами пространственно-временной ответ мозга был идентифицирован как основной нервный коррелят инсайта.

ЭЭГ колебания в альфа-диапазоне отражают нервное торможение. В состоянии умственного напряжения альфа-ритм затухает. Затылочная альфа активность отражает торможение зрительных входов (Jensen, Mazaheri, 2010). Представляется вероятным, что этот пре-инсайтный взрыв альфа-активности, отражает временное усиление входного сенсорного торможения, которое, в свою очередь, уменьшает отвлекающий шум входов для облегчения поиска слабого бессознательно решения, связанного с правой височной долей (Jung Beeman et al., 2004; Wu et al., 2009). Этот важный факт хорошо сочетается с нашими результатами, так как мы видим после начала стимуляции мощное торможение только в ВА17. Это торможение заканчивается перед началом формирования целостного объекта, т.е. достижения порога, который в этих условиях отождествляется с инсайтом. При этом испытуемым предъявляется только 20% от контура объекта. На основе этой совокупности данных, впервые установлено, что принятие решения в условиях инсайта обеспечивает сложная сеть взаимоотношений, в основном, теменной, височной и затылочной коры, а также оппонентные взаимодействия префронтальной коры с передними отделами поясной извилины.

По сравнению с аналитическим типом решения, инсайтное решение требует большего вклада и интеграции мозговой активности, а также более

обобщенной семантической обработки, как считают, в теменных областях правого полушария (что частично отличается от наших данных); большей чувствительности к конкурирующим ответам в механизмах когнитивного контроля, поддерживаемых передней долей поясной коры, и относительный акцент на внутренней обработке при снятии акцента на внешние стимулы. Эти изменения происходят согласовано, в процессе действия стимула. Оппонентные взаимодействия, например, BA17 и BA37 или BA9 и BA10 в затылочных, височных и, главное, во фронтальных областях головного мозга, отражают многоуровневый процесс принятия решений по конфликтующим оценкам, предсказанный в теоретических исследованиях (Saaty, 2008) и реализованный в оппонентных структурах головного мозга человека. Таким образом, обеспечение баланса критериев при принятии решения осуществляется путём перераспределения активности между областями мозга. Структуры, обеспечивающие важные когнитивные и, сопровождающие их, эмоциональные процессы, взаимодействуют по принципу синхронности и оппонентности, т.е. могут осуществлять решения по множеству критериев и по конфликтующим оценкам (Ardila et al., 2010).

Нейровизуализация и электрофизиологические методы позволили выявить нейронные субстраты инсайта, которые раньше были скрыты при проведении поведенческих исследований инсайта у животных или психологических исследований инсайта у человека. Именно нейровизуализация и цифровая электроэнцефалография открыли новые возможности и направления в исследовании нейрофизиологических механизмов (Кропотов, 2010). Для стимулирования инсайта становятся доступными новые технологии, включая экспериментальное вмешательство с прямой электромагнитной стимуляцией мозга. Отметим, что сейчас положено лишь начало нашим знаниям о работе нейронных сетей и еще меньше - об их электромагнитной стимуляции. Известно, что в этом задействованы многокомпонентные процессы и соответствующие нейронные субстраты, и некоторые из них восприимчивы к тонким смещениям

внимания, настроения и других факторов. Уточненные методы расширят исследования, которые мы описали, и внесут новые результаты в анализ нейронных сетей головного мозга. Пока можно только догадываться, что будет раскрыто будущими исследованиями индивидуальных различий, связанных с инсайтом (по данным нейроанатомии и цитоархитектонике).

Таким образом, различные модели нейронной активности, связанные с инсайтом и проявляющиеся в момент озарения (за последние две секунды, предшествующие этому моменту), в фазе подготовки и даже в состоянии покоя головного мозга (преобладание решений по озарению), противопоставляются моделям анализа. Эти выводы объективно обосновывают обилие поведенческих доказательств того, что базовые варианты решающих стилей являются результатом настроек сети, связывающей области мозга, участвующие в решении проблемы. Более того, конкретные области, соотносимые с каждым отдельным этапом решения (или подготовки к нему) дают информацию о том, что развитие состояния озарения отличается от последовательного анализа. По нашим данным, возникновение инсайта обеспечивается деятельностью крупномасштабной нейронной сети, которая захватывает ключевые элементы затылочной, височной и лобной областей. При этом между элементами сети наблюдаются оппонентные взаимоотношения. Подтверждается также гипотеза о наличии межполушарной асимметрии крупномасштабных нейронных сетей, обеспечивающих инсайт. Например, взаимодействие расширенной речевой зоны Брока у правшей слева (BA44, BA45, BA46) и симметричной области справа (BA44, BA45, BA46), вероятно участвующей в сети обеспечения невербальной коммуникации.

На рисунке 33 показаны примеры разворачивания ответов различных областей мозга на зрительный сигнал. Максимум нейронной активности в момент порогового распознавания формы фигуры сопровождается выраженной эмоциональной реакцией, которую в данной работе

регистрировали на основании устных ответов испытуемых (Шелепин и др., 2015).

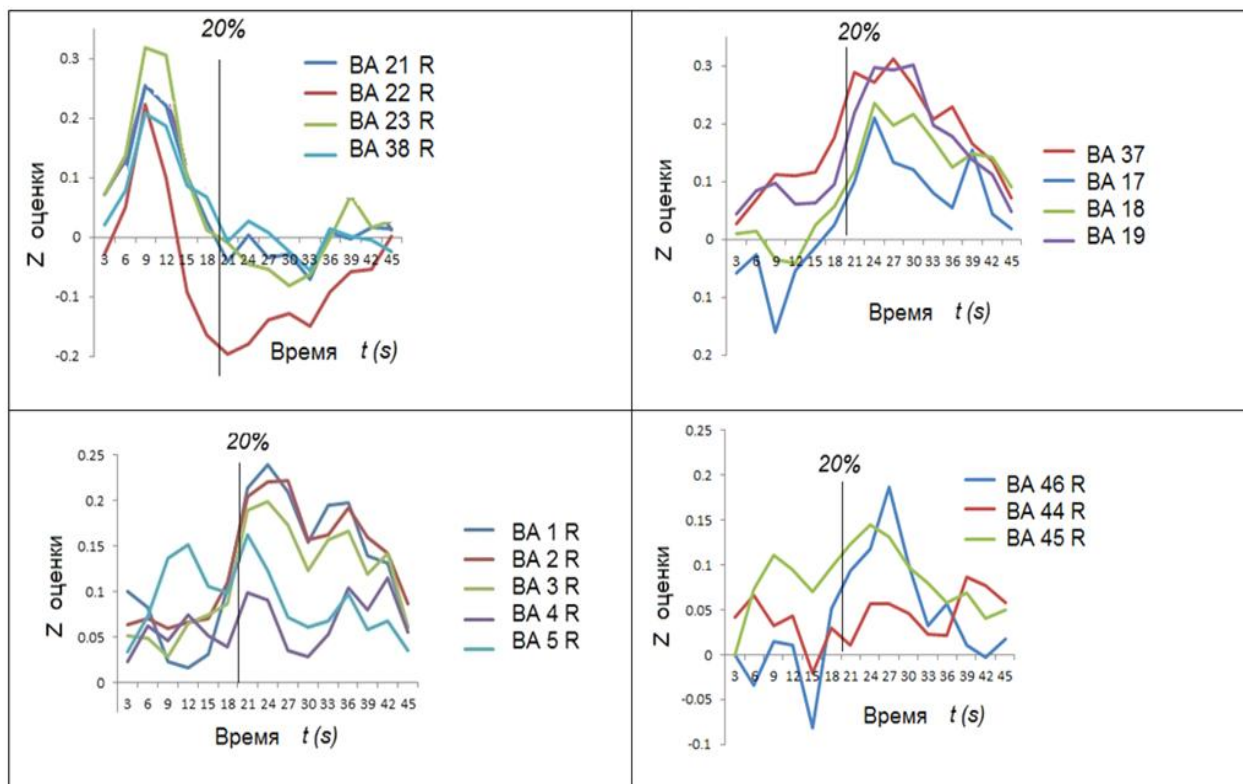


Рис. 33. Обобщающая демонстрация разворачивания во времени отклика всего мозга на динамический зрительный стимул. Показаны отклики выбранных областей лобной, теменной, височной и затылочной коры.

На рисунке видно, что сильный ранний ответ на неопределенность ситуации, начинается не в зрительной, а в слуховой коре – ВА21, 22, 23. Подготовка к инсайту формируется в ВА37.

Именно там статистически значимо и раньше всего (раньше даже чем ВА17) начинается реакция на формирование целостной картинки. Именно там, в ВА37, формируется «инкубационный период» инсайта и затем «внезапно» развивается само понимания изображаемого фрагментами изображения.

Зона ВА37 расположена в задней части нижневисочной области и в фузиформной извилине. Она имеет значимые «возбудительные и тормозные связи» с левой нижневисочной областью (ВА20, ВА21), с левой

префронтальной корой (ВА9, ВА46, ВА45 и ВА47), левой инсулой (ВА13), левым и правым предклиньем (захватывая зоны ВА7, ВА19) и с затылочной областью (ВА18). Вероятно, левая зона ВА37 - это область узлового пересечения двух нейронных сетей: одной, осуществляющей зрительное распознавание, и другой, обеспечивающей описание семантических свойств речи и зрительно-лексические ассоциации (Шелепин и др., 2014; Ardila et al., 2015; 2016a).

Таким образом, распознавание Голлин-теста вначале вызывает активацию областей, связанных с вниманием - пространственным (ВА7) и эмоциональным (ВА20, 21). Сразу активируется и слуховая кора, что отражает состояние, когда человек настораживается в момент неопределенности. Затем во всех этих зонах наступает торможение. После инсайта (ВА37) начинают действовать соматосенсорная и двигательная (исполнительный ответ) кора. При этом соматосенсорная кора реагирует на неосознаваемое напряжение мышц, в первую очередь лицевых, как в случае внутреннего монолога; чтения текста «про себя»; работы зеркальных нейронов и т.д.

В целом, взаимоотношения зрительной, слуховой и соматосенсорной коры в наглядных экспериментальных условиях продемонстрировали закономерности межсенсорного взаимодействия. В частности, чередование фазы активации (преинсайт) и торможения (постинсайт) в слуховой области коры (ВА22) при предъявлении зрительного сигнала в условиях неопределенности и распознавания. Общие принципы взаимной активации и торможения при межсенсорном взаимодействии известны давно и были показаны еще С. Кравковым (1948).

Если отнести инсайт к образному конкретному мышлению (Saaty, 2008), то установленные нами нейронные сети, включающие ВА19 и особенно ВА37, указывают на конкретные нейрофизиологические механизмы, принимающие участие в обеспечении инсайта как важного мыслительного процесса. Для него, в первую очередь, важны дорзальные

отделы мозга, тогда как аналитическое мышление включает преимущественно нейронные сети фронтальной коры.

В заключение этой главы остановимся на вопросах, которые обычно интересуют клиницистов: можно ли управлять озарением; можно ли способствовать более проницательному мышлению. Прежде всего, следует подчеркнуть, что до решения проблемы путем озарения, она должна быть проанализирована на осознаваемом и подсознательном уровнях. Должно произойти то, что Грэм Уоллас в 1926 году назвал «погружением» (Wallas, 2014). Тогда возникает вопрос, как и когда можно облегчить понимание и решение задачи методом инсайта. Можно предположить, что наиболее подходящее время для облегчения вызова озарения наступает, когда процессы семантической интеграции уже активируют представление потенциального решения до уровня чуть ниже порога осознания и создадут основу для «ага-эффекта».

Таким образом, развитие интуиции и интроспективного анализа (взгляд внутрь) своего состояния для более тонкого ощущения зарождения решения и его выхода на подпороговый уровень «готовности» решения, может быть первым шагом к произвольной «провокации» инсайта. В качестве дополнительных мер увеличения вероятности инсайта могут выступать: стимуляция позитивного настроения, расширение внимания с помощью различных средств и ассоциаций, избегание излишней фокусировки на узкой проблеме, тренировка переключений и «свежего взгляда», чтобы оценить ситуацию по-новому.

Следующий вопрос, представляющий значительный практический интерес: возможно ли стимулирование и использование инсайта в медицине специального назначения. С точки зрения оценки вовлеченных в инсайт процессов и возможной диагностики их нарушений, нужно учитывать одно из ограничений нейровизуализации и электрофизиологических исследований. Оно заключается в том, что эти методы, по своей сути, корреляционные, что усложняет однозначную интерпретацию их результатов в отношении здоровья / нездоровья. Однако это направление работ,

безусловно, будет продолжено и оформлены соответствующие практические рекомендации.

Новые возможности открывают развивающиеся методы стимуляции головного мозга. Недавно была применена методика стимуляции мозга (транскраниальная стимуляция постоянным током - tDCS), с попыткой улучшить понимание и облегчить развитие инсайта. Были получены многообещающие результаты (Chi, Snyder, 2011; 2012). В исследованиях была применена стимулирующая (анодная) стимуляция к правой лобно-височной коре и тормозная (катодная) стимуляция к левосторонней височной коре. Такая стимуляция значительно повысила скорость решения девятизначной задачи и задачи с перестановкой спичек. Предложенный метод помогал испытуемым увеличить скорость принятия решения от 0% до 40% (Kounios, Veeman, 2014). Кроме того, было обнаружено, что стимуляция, мешающая левой дорсолатеральной префронтальной коре, облегчает решение сложных отдаленных проблем (Metuki et al., 2012) или генерирует их необычные решения (Chrysikou et al., 2013). Исследователи предполагают, что такие задачи выигрывают от ослабления когнитивного контроля, который, в противном случае, мог бы сосредоточиться на анализе и тонком семантическом кодировании в левом полушарии головного мозга.

В то же время, ни одно из этих исследований не противоречило полученным данным о механизмах активации мозговых процессов при принятии инсайтного решения. В частности, результаты по стимуляции тоже подтвердили, что феномен инсайта больше зависит от процессов в правых височных областях, чем в левых. Они также создают почву для будущих разработок, которые смогут облегчать решение трудных проблем, возможно фантастическими способами – например, надевая инновационный «мыслящий колпак». Однако эти исследования, аналогичные другим новаторским исследованиям, поднимают и много новых вопросов. Например, в исследовании одновременно со стимуляцией правой лобно-височной коры тормозилась левая лобно-височная кора (Chi, Snyder, 2012). Эти зоны слева у правой – речевая, а справа - невербальной коммуникации. В частности,

ВА44, ВА45, ВА46 связаны с разными участками височной коры (Ardila et al., 2015; 2016a,b). Кроме того, пока точно не доказано, действительно ли опыт со стимуляцией tDCS увеличивал вероятность того, что участники решали задачи озарением, а не аналитически. Хотя, как мы уже отмечали, большинство задач можно решить, пользуясь любой из этих стратегий. Тот факт, что некоторые исследователи считают решение задач с девятью точками или перестановкой спичек моделью инсайта, не исключает возможности их аналитического решения. Эти исследования не оценивали стратегии, которые применяли их участники, поэтому все, что известно, заключается в том, что скорость решения задач увеличилась, а не то, как и почему это происходило. Таким образом, еще много предстоит сделать, чтобы стимуляцию с tDCS можно было считать практической и полезной возможностью безопасного управления когнитивными стратегиями человека.

Еще одним способом улучшения понимания стоящих проблем является фармакологическое воздействие. Например, недавно были экспериментально подтверждены представления о том, что алкоголь может улучшить взаимопонимание путем озарения, но не аналитически (Jarosz et al., 2012). Результаты показали возможности фармакологического избирательного управления деятельностью разных механизмов принятия решений.

В целом, главными достижениями этого этапа работы стали: дополнительная настройка метода моделирования инсайта для измерений с помощью фМРТ; получение новых данных о работе мозга человека в процессе эвристического решения задачи (инсайта), важной частью которых стало доказательство перестройки крупномасштабных нейронных сетей во время подготовки и развития инсайта. Разработанный метод исследования представляется уникальным средством функциональной диагностики основных когнитивных систем головного мозга, работающих как в осознанном режиме, так и на уровне подсознания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для реализации цели и задач данного исследования был разработан оригинальный способ исследования инсайтного решения задачи человеком, позволяющий проводить измерения психофизическими методами и методами нейровизуализации (фМРТ). В качестве его основы был выбран Голлин-тест, созданный еще в 50-е годы для исследования зрительной памяти пациентов.

Была использована последняя компьютерная версия этого метода, получившая широкое распространение в нейрофизиологических исследованиях зрительного восприятия. Процедура распознавания неполных фрагментированных изображений с постепенным наращиванием элементов контура была дополнительно согласована с особенностями фМРТ измерений, что позволило провести анализ активности целого ряда областей головного мозга, выбранных в качестве зон «интереса» в рамках основного направления работы – изучения нейрофизиологических механизмов инсайта (озарения).

Известно, что решению задачи путем озарения предшествуют бессознательные нейронные процессы. В электрофизиологических исследованиях показано, что торможение альфа ритма и активация гамма ритма являются предшественниками нейронной активности инсайта. Распределение активности в зонах головного мозга в момент порога распознавания изображения объекта в условиях неопределенности (отождествленного нами с инсайтом) оказалось близким к описанным в литературе характеристикам, установленным другими методами и при других условиях вызова озарения. Это рассматривалось как подтверждение адекватности нашей модели инсайта и процедуры исследования его механизмов. Об этом свидетельствовала и фиксация основных атрибутов инсайтного решения: период неосознаваемого накопления информации (полная неопределенность), внезапный момент озарения, сопровождаемый яркой положительной реакцией и принятие решения с исполнительной моторной реакцией (снятие неопределенности).

Разработанные методы позволили впервые показать отклики всего мозга человека на разных уровнях обработки информации о динамических зрительных сигналах – от входных звеньев до команд моторного отклика. Было показано, что активность разных зон мозга при распознавании изображений в Голлин-тесте представляет собой чередующуюся матрицу активируемых и вытормаживаемых структур. Наиболее ярко оппонентные отношения проявляются между зоной по Бродману ВА37 и Прекуниус. Теменно-височное взаимодействие и участие поясной извилины позволяет предполагать, что инсайт является более древним в филогенезе механизмом по сравнению с аналитическим способом решения задач.

В выводах выделены наиболее важные для развития инсайта зоны: зона ВА37 обеспечивающая объединение фрагментов в целостный образ, зоны ВА9 и ВА10, принимающие активное участие в принятии решения. Наличие оппонентных соотношений между теменной и нижневисочной корой, между правыми и левыми долями префронтальной коры, соответствуют известному положению В.Д. Глезера о двойной дихотомии мозга. В то же время, анализ всего диапазона оппонентных взаимодействий показывает значительно большее число участников процессов, обеспечивающих инсайт.

Полученные данные позволили впервые показать динамику изменения BOLD-сигнала на всех этапах развития инсайта: от подпорогового (прединсайт), до порогового (инсайт) и надпорогового (постинсайт) уровней. При этом в момент достижения порога распознавания (инсайта) зарегистрирован максимум активности всего мозга, который значимо превышает подпороговый и надпороговый (когда изображение предъявляется полностью) уровень активности. Кроме того, в этот момент происходит значимое перераспределением активности оппонентных областей мозга, что подтверждается анализом изменения BOLD-сигнала во времени.

Изменение BOLD-сигнала оппонентных систем в момент инсайта в наших исследованиях коррелирует с изменением спектра ЭЭГ - снижением

альфа- и повышением гамма-ритма в работе других авторов (Kounios, Beeman, 2014). Важно также, что максимум нейронной активности в момент порогового распознавания объекта в наших экспериментах, в подавляющем большинстве случаев, сопровождался выраженной эмоциональной реакцией (данные самоотчета испытуемых).

Полученные результаты отражают общий принцип многоуровневости и сопоставления противоположных данных, лежащего в основе принятия решений, который был теоретически предсказан Томасом Саати (Saaty, 2008) и реализован в оппонентных структурах головного мозга человека. В нервной системе принцип принятия решений на основе конфликтующих (оппонентных) оценок является основой и инсайтного и аналитического способа решений. В нашей работе удалось получить его доказательную демонстрацию.

Полученные новые данные о механизме быстрого эвристического принятия решений могут быть применены для оптимизации искусственной нейронной сети как локальной, так и крупномасштабной, обеспечивающей целенаправленное мотивированное поведение. Эти представления перекликаются с рядом существующих работ по локальным и глобальным нейронным сетям (Шелепин, 2017). Развитие направления моделирования деятельности нейронных сетей позволяет предполагать, что загадочный механизм инсайта может быть организован на более простой нейронной сети, присущей как высшим позвоночным (хищникам), так и приматам. Кажущаяся загадочность этого механизма связана с тем, что предварительная («прединсайтная») часть процесса происходит вне нашего сознания, и осознается только результат, проведенного предварительно накопления и анализа информации (в нашем случае - обработки неполных изображений с менее 20% элементов контура). Аналитический способ решения задач, вероятно, предполагает более сложную процедуру, так как требует вовлечение элементов внутренней речи и осознанного логического мышления на каждом их этапов ее решения. В то же время инсайтный вариант решения, как тоже было показано в работе, тесно связан с семантической обработкой информации, включая зрительно-лексические

ассоциации и элементы невербальной коммуникации. Эти связи определяют возможность очень интересного продолжения исследования с более детальным анализом мозговых взаимодействий в расширенных речевых областях Вернике и Брока.

В целом, можно заключить, что поставленные в работе задачи и в отношении планируемых методических разработок и в отношении получения новых данных о нейрофизиологических механизмах инсайта, успешно выполнены.

В теоретическом плане: полученные данные расширяют существующие представления о порогах распознавания неполных контурных изображений в условиях неопределенности, отождествляемых с инсайтом; обнаруженная активация нейронных сетей головного мозга при достижении порога распознавания позволяет приблизиться к пониманию нейрофизиологических механизмов возникновения инсайта, а также к их реализации в нейронных сетях глубокого обучения систем искусственного интеллекта, обеспечивающих возможность принятия решений на уровне человека.

В практическом плане: результаты работы могут быть использованы: при проведении фундаментальных и прикладных исследований (моделирование и стимуляция инсайта); разработке тренинга принятия решений (особенно в экстремальных условиях); создания ассистивных технологий для медицинской реабилитации.

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 показателях 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 ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабкин Б.П. Опыт систематического изучения сложно-нервных (психических) явлений у собаки / СПб: Из-во ВМА. – 1904. – 95 с.
2. Барабанщиков В.А. Окуломоторная активность человека как предмет и метод психологического исследования / В.А. Барабанщиков // Айтрекинг в психологической науке и практике. – Под ред. Барабанщикова В.А. – М: Когито-Центр. – 2015. – С. 15-35.
3. Брагина Н.Н., Доброхотова Т.А. Функциональные асимметрии человека / Н.Н. Брагина, Т.А. Доброхотова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Медицина. – 1988. – 240 с.
4. Валуева Е.А. Сигнальная модель инсайта: основные положения и соотношение с научными взглядами Я.А.Пономарева / Е.А. Валуева // Психологический журнал. - 2015. – Т. 36. – № 6. – С. 35-44.
5. Валуева Е.А., Ушаков Д.В. Инсайт и инкубация в мышлении: роль процессов осознания // Е.А. Валуева, Д.В. Ушаков // Сибирский психологический журнал. – 2017. – № 63. – С. 19-35.
6. Валуева Е.А., Ушаков Д.В. Сигнальная модель Инсайта: от исторических предпосылок к эмпирическим предсказаниям / Е.А. Валуева, Д.В. Ушаков // Современные исследования интеллекта и творчества. Серия: «Экспериментальные исследования». – Отв. ред. А.Л. Журавлев, В.Д. Ушаков, М.А. Холодная – 2015. – Москва: Ин-т психологии РАН. – С.15-47.
7. Вертгеймер М. Продуктивное мышление / М. Вертгеймер. – Общ. ред. С.Ф. Горбов, В.П. Зинченко. – Москва: Прогресс. – 1987. – 336 с.
8. Владимиров И.Ю., Чистопольская А.В. Анализ гностических действий с помощью технологии регистрации движения глаз как метод изучения процесса инсайтного решения / И.Ю. Владимиров, А.В. Чистопольская // Культурно-историческая психология. – 2016. – Т. 12. – № 1. – С. 24-34.

9. Глезер В.Д. Зрение и мышление / В.Д. Глезер. – Ленинград: Наука. – 1995. – 248 с.
10. Ефимова В.Л., Николаева Е.И., Огородникова Е.А. Анализ возможных причин нарушений в развитии связной речи у первоклассников с помощью айтрекинга / В.Л. Ефимова, Е.И. Николаева, Е.А. Огородникова // Психология образования в поликультурном пространстве. - 2018. - Т.42. - №2. - С.18-24.
11. Ключарев В.А., Шмидс А., Шестакова А.Н. / Нейроэкономика: нейробиология принятия решений / В.А. Ключарев, А. Шмидс, А.Н.Шестакова // Экспериментальная психология. – 2011. – Т. 4. – № 2. – С. 14-35.
12. Кравков С.В. Взаимодействие органов чувств / С.В. Кравков. – Издательство Академии Наук СССР. – 1948. – 121 с.
13. Красильников Н. Н. Цифровая обработка изображений / Н.Н. Красильников. М.: Вузовская книга. – 2001. – 320 с.
14. Кропотов Ю.Д. Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия / Ю.Д. Кропотов. – Донецк: ИД Заславский. – 2010. – 512 с.
15. Лавров В.В. Межполушарная асимметрия и опознание неполных изображений при изменении эмоционального состояния / В.В. Лавров // Сенсорные системы. – 2009. – Т. 23. – № 4. – С. 325-334.
16. Лавров В.В., Рудинский А.В. Распознавание фрагментарных изображений / В.В. Лавров, А.В. Рудинский // Сенсорные системы. – 2004. – Т. 18. – № 4. – С. 317–324.
17. Леонова А.Б. Психодиагностика функциональных состояний человека /А.Б. Леонова. – М.: Изд-во Моск. ун-та. – 1984. – 200 с.
18. Мосидзе В.М., Рижинашвили Р.С., Самадашвили Э.В., Турашвили Р.И. Функциональная асимметрия мозга / В.М. Мосидзе, Р.С. Рижинашвили, Э.В. Самадашвили, Р.И. Турашвили. – Тбилиси: Мецниереба. – 1977. – 122 с.

19. Невская А.А., Леушина Л.И. Ассиметрия полушарий и распознавание зрительных образов / А.А. Невская, Л.И. Леушина. – Ленинград: Наука. – 1990. – 152 с.
20. Павлов И.П. Критика работы Келлера / И.П. Павлов // Павловские клинические среды: стенограммы заседаний в нервной и психиатрической клиниках Стенограммы 1935-1936 гг. – Москва – Ленинград: Изд-во АН СССР. – 1949. – Т. 3. – С.43-44.
21. Павлов И.П. Двадцатилетний опыт объективного изучения высшей деятельности (поведения) животных. - М.: Наука, 1973. - 661 с.
22. Пономарев Я. А. Перспективы развития психологии творчества / Я.А. Пономарев // Психология творчества: школа Я. А. Пономарева. – Под ред. Д. В.Ушакова. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН». – 2006. – С. 145–276.
23. Прохоров А.О. Методики диагностики и измерения психических состояний личности / А.О. Прохоров. – М.: ПЕР СЭ. – 2004. – 176 с.
24. Торндайк Э. Принципы обучения, основанные на психологии / Э. Торндайк. – Москва: Работник просвещения. – 1926. – 235 с.
25. Торндайк Э., Уотсон Дж. Б. Бихевиоризм. Принципы обучения, основанные на психологии. Психология как наука о поведении / Э. Торндайк, Дж.Б. Уотсон. – Москва: АСТ-ЛТД. – 1998. – 704 с.
26. Уотсон, Д. Двойная спираль: Воспоминания об открытии структуры ДНК. — М. : Мир. - 1969. - 152 с.
27. Ушаков Д.В. Психология интеллекта и одаренности / Д.В. Ушаков. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН». – 2011. – 464 с.
28. Фарбер Д.А., Петренко Н.Е. Оpozнание фрагментированных изображений и механизмы памяти / Д.А. Фарбер, Н.Е. Петренко // Физиология человека. – 2008. – Том. 34. – №1. – С. 1-18.
29. Хараузов А.К., Борачук О.В., Шелепин Ю.Е., Васильев П.П., Пронин С.В., Фокин В.А., Соколов А.В. Исследование механизма принятия

решения в техногенной среде методом фМРТ // Биотехносфера. 2014. - № 1–2(31–32). С. 14-19

30. Черниговская Т.В., Светозарова Н.Д., Токарева Т.И., Третьяков Д.А., Озерский П.В., Стрельников К.Н. Специализация полушарий мозга в восприятии интонаций русского языка / Т.В. Черниговская, Н.Д. Светозарова, Т.И. Токарева, Д.А. Третьяков, П.В. Озерский, К.Н. Стрельников // Физиология человека. – 2000. – Т. 26. – №2. – С. 24-29.

31. Шелепин К.Ю., Пронин С.В., Шелепин Ю.Е. / К.Ю. Шелепин, С.В. Пронин, Ю.Е. Шелепин // Оптический журнал. – 2015. - № 10. – С. 72-80.

32. Шелепин Ю.Е., Бондарко В.М. Разрешающая способность и дискретизация изображений в зрительной системе / Ю.Е. Шелепин, В.М. Бондарко // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2002. – Т. 88. – № 9. – С. 1116-1132.

33. Шелепин Ю.Е. Введение в нейроиконику / Ю.Е. Шелепин. – СПб.: Троицкий мост. – 2017. – 350 с.

34. Шелепин Ю.Е., Фокин В.А., Меньшикова С.В., Борачук О.В., Коскин С.А., Соколов В.А. Пронин С.В., Хараузов А.К., Васильев П.П., Вахрамеева О.А. Методы иконоки и методы картирования мозга в оценке функционального состояния зрительной системы // Сенсорные системы. 2014. - № 2.

35. Шелепин Ю.Е., Фокин В.А., Хараузов А.К., Пронин С.В., Чихман В.Н. Локализация центра принятия решений при восприятии формы зрительных стимулов / Ю.Е. Шелепин, А.К. Хараузов, В.А. Фокин, С.В. Пронин, В.Н. Чихман // Доклады Академии Наук. – 2009. – Т. 429. – № 6. – С. 1-3.

36. Ярбус А. Л. Роль движений глаз в процессе зрения / А.Л. Ярбус. – М.: Наука. – 1965. – 173 с.

37. Abreu A.M., Macaluso E., Azevedo, R.T., Cesari P., Urgesi C., Aglioti S.M. Action anticipation beyond the action observation network: a

functional magnetic resonance imaging study in expert basketball players // EJN. – 2012. - V. 35. N.10. - P. 1646–1654.

38. Allman, J.M., Hakeem, A., Erwin, J.M., Nimchinsky, E., Hof, P. The anterior cingulate cortex: the evolution of an interface between emotion and cognition / J.M. Allman, A. Hakeem, J.M. Erwin, E. Nimchinsky, P. Hof // Ann. N. Y. Acad. Sci. – 2001. – Vol. 935. – P.107–117.

39. Amabile, T.M., Barsade, S.G., Mueller, J.S., Staw, B.M. Affect and creativity at work / T.M. Amabile, S.G. Barsade, J.S. Mueller, B.M. Staw // Adm. Sci. Q. – 2005. – Vol. 50. – P.367–403.

40. Ansburg, P.I., Hill, K. Creative and analytic thinkers differ in their use of attentional resources / P.I. Ansburg, K. Hill // Personal. Individ. Differ. – 2003. – Vol. 34. – P.1141–1152.

41. Ardila, A. A proposed reinterpretation and reclassification of aphasic syndromes / A. Ardila // Aphasiology/ - 2010. - N24. – P.363-394.

42. Ardila A., Bernal B., Rosselli M. Language and visual perception associations: Meta-analytic connectivity modeling of Brodmann area 37 / A. Ardila, B. Bernal, M. Rosselli // Behavioral Neurology. - 2015. – V. 2015. P.2-14.

43. Ardila A., Bernal B., Rosselli M. How Localized are Language Brain Areas? A Review of Brodmann Areas Involvement in Oral Language / A. Ardila, B. Bernal, M. Rosselli // Archives of Clinical Neuropsychology. – 2016a. - N. 31. P. 112–122.

44. Ardila A., Bernal B., Rosselli M. Connectivity of BA46 involvement in the executive control of language / A. Ardila, B. Bernal, M. Rosselli // Psicothema. – 2016b. – Vol. 28. – N. 1. – P.26-31.

45. Ashby, F.G., Isen, A.M., Turken, U. A neuropsychological theory of positive affect and its influence on cognition / F.G. Ashby, A.M. Isen, U. Turken // Psychol. Rev. – 1999. – Vol. 106. – P.529–550.

46. Aziz-Zadeh, L., Kaplan, J.T., Iacoboni, M. “Aha!”: the neural correlates of verbal insight solutions / L. Aziz-Zadeh L., J.T. Kaplan, M. Iacoboni // Hum. Brain Mapp. – 2009. – Vol. 30. – P.908–916.

47. Babenko V.V., Ermakov P.N., Yavna D.V. Hemispheric asymmetry of second-order visual mechanisms / V.V. Babenko, P.N. Ermakov, D.V. Yavna // *International Journal of Psychology*. – 2016. – Vol. 51. – № S1. – P. 164.
48. Bar, M. A cognitive neuroscience hypothesis of mood and depression / M. A. Bar // *Trends Cogn. Sci.* – 2009. – Vol.13. – P.456–463.
49. Bar-Haim, Y., Lamy, D., Pergamin, L., Bakermans-Kranenburg, M.J., van IJzendoorn, M.H. Threat-related attentional bias in anxious and nonanxious individuals: a meta-analytic study / Y. Bar-Haim, D. Lamy L. Pergamin, M.J. Bakermans-Kranenburg, M.H. van IJzendoorn // *Psychol. Bull.* – 2007. – Vol.133. – P.1–24.
50. Beeman, M.J., Bowden, E.M. The right hemisphere maintains solution-related activation for yet-to-be solved problems / M.J. Beeman, E.M. Bowden // *Mem. Cogn.* – 2000. – Vol. 28. – P.1231–1241.
51. Beeman, M.J., Bowden, E.M., Gernsbacher, M.A. Right and left hemisphere cooperation for drawing predictive and coherence inferences during normal story comprehension / M.J. Beeman, E.M. Bowden, M.A. Gernsbacher // *Brain Lang.* – 2000. – Vol. 71. – P.310–336.
52. Bolte, A., Goschke, T., Kuhl, J. Emotion and intuition: effects of positive and negative mood on implicit judgments of semantic coherence / A. Bolte, T. Goschke, J. Kuhl // *Psychol. Sci.* – 2003. – Vol.14. – P.416–421.
53. Botvinick, M.M., Cohen, J.D., Carter, C.S. Conflict monitoring and anterior ingulate cortex: an update / M.M. Botvinick, J.D. Cohen, C.S. Carter // *Trends Cogn. Sci.* – 2004. – Vol.8. – P.539–546.
54. Bowden, E.M. The effect of reportable and unreportable hints on anagram solution and the aha! Experience / E.M. Bowden // *Conscious. Cogn.* – 1997. – Vol. 6. – P.545–573.
55. Bowden, E.M., Beeman, M.J. Getting the right idea: Semantic activation in the right hemisphere may help solve insight problems / E.M. Bowden, M.J. Beeman // *Psychol. Sci.* – 1998. – Vol. 9(6). – P.435–440.

56. Bowden, E.M., Jung-Beeman, M. Normative data for 144 compound remote associate problems / E.M. Bowden, M. Jung-Beeman // *Behav. Res. Methods.* – 2003a. – Vol. 35(4). – P.634–639.
57. Bowden, E.M., Jung-Beeman, M. Aha! Insight experience correlates with solution activation in the right hemisphere / E.M. Bowden, M. Jung-Beeman // *Psychon. Bull. Rev.* 2003b. – Vol. 10. – P.730–737.
58. Bowden, E.M., Jung-Beeman, M., Fleck, J., Kounios, J. New approaches to demystifying insight / E.M. Bowden, M. Jung-Beeman, J. Fleck, J. Kounios // *Trends Cogn. Sci.* – 2005. – Vol. 9(7). – P.322–328.
59. Brandt S.A., Stark L.W. Spontaneous eye movements during visual imagery reflect the content of the visual scene / S.A. Brandt, L.W. Stark // *J Cogn Neurosci.* – 1997. – Vol.9. - N1. – P.27-38.
60. Brodmann K. Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrind: in ihren Principien dargestellt auf Grund des Zellaufbaues / K. Brodmann. – Leipzig: Johann Ambrosius Barth Verlag. – 1909. – 324 p.
61. Brunye, T.T., Gagnon, S.A., Paczynski, M., Shenhav, A., Mahoney, C.R., Taylor, H.A. Happiness by association: Breadth of free association influences affective states / T.T. Brunye, S.A. Gagnon, M. Paczynski, A. Shenhav, C.R. Mahoney, H.A. Taylor // *Cognition.* – 2013. – Vol. 127. – P.93–98.
62. Bryan T.D., Hedy K., Kevin N.O. A Meta-Analysis of Functional Neuroimaging Studies of Self and Other Judgments Reveals a Spatial Gradient for Mentalizing in Medial Prefrontal Cortex // *J. Cogn. Neurosci.* - 2012. - V. 24 (8). - P. 1742–1752.
63. Bush, G., Luu, P., Posner, M.I. Cognitive and emotional influence in anterior cingulate cortex / G. Bush, P. Luu, M.I. Posner // *Trends Cogn. Sci.* – 2000. – Vol. 4. – P.215–222.
64. Buxton R.B., Uludag K., Dubowitz D.J., Liu T.T. Modeling the hemodynamic response to brain activation / R.B. Buxton, K. Uludag, D.J. Dubowitz, T.T. Liu // *NeuroImage.* – 2004. - N23. – P.220-233.

65. Campbell F. W. The Human Eye as an Optical Filter / F.W. Campbell // Proc. of IEEE. – 1968. – V. 56. – № 6. – P. 1009–1014.
66. Campbell F. W. The Transmission of Spatial Information through the Visual System / F.W. Campbell // Neuroscience. – 1974. – P. 95–103.
67. Carson, S.H., Peterson, J.B., Higgins, D.M. Decreased latent inhibition is associated with increased creative achievement in high-functioning individuals / S.H. Carson, J.B. Peterson, D.M. Higgins // J. Personal. Soc. Psychol. – 2003. – Vol. 85. – P.499–506.
68. Caspers S., Zilles K., Laird A.R., Eickhoff S.B. ALE-meta-analysis of action observation and imitation in the human brain / S. Caspers, K. Zilles, A.R. Laird, S.B. Eickhoff // Neuroimage. - 2010. – V.50.- P.1148-1167.
69. Chernova N.D., Muravyova S., Shelepin Y., Foreman N., Tadtava Z., Chihman V., Pronin S. Gollin test on noisy backgrounds / N.D. Chernova, S. Muravyova, Y. Shelepin, N. Foreman, Z. Tadtava, S. Pronin // Perception. – 1999. – 28. – Suppl 1. – P. 77-78.
70. Chi, R.P., Snyder, A.W. Brain stimulation enables the solution of an inherently difficult problem / R.P. Chi, A.W. // Snyder Neurosci. Lett. – 2012. – Vol. 515. – P.121–124.
71. Chi, R.P., Snyder, A.W. Facilitate insight by non-invasive brain stimulation / R.P. Chi, A.W. Snyder // PLoS ONE. – 2011. – Vol. 6(2). – P.e16655.
72. Chiarello, C. Lateralization of lexical processes in the normal brain: a review of visual half-field research / C. Chiarello // Contemporary Reviews in Neuropsychology. – Ed. H.A Whitaker. – New York: Springer-Verlag. – 1988. – P. 36-76.
73. Chiarello, C., Burgess, C., Richards, L., Pollock, A. Semantic and associative priming in the cerebral hemispheres: some words do, some words don't sometimes, some places / C. Chiarello, C. Burgess, L. Richards, A. Pollock // Brain Lang. – 1990. – Vol. 38. – P.75–104.

74. Chikhman, V., Shelepin Y., and Pronin S. Experimental study of invariant perception of wavelet images / V. Chikhman, Y. Shelepin, S. Pronin // *Journal of Optical Technology*. – 2011. – Vol. 78. – Issue 12. – P. 803-807.

75. Chronicle, E.P., MacGregor, J.N., Ormerod, T.C. What makes an insight problem? The roles of heuristics, goal conception, and solution recoding in knowledge-lean problems / E.P. Chronicle, J.N. MacGregor, T.C. Ormerod // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. – 2004. – N30. – P.14-27.

76. 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 / E.G. Chrysikou, R.H. Hamilton, H.B. Coslett, A. Datta, M. Bikson, S.L. Thompson-Schill // *Cogn. Neurosci.* – 2013. – Vol. 4. – P.81–89.

77. Chun, M.M., Golomb, J.D., Turk-Browne, N.B. A taxonomy of external and internal attention / M.M. Chun, J.D. Golomb, N.B. Turk-Browne // *Annu. Rev. Psychol.* – 2011. – Vol. 62. – P.73–101.

78. Cranford, E.A., Moss, J. Is insight always the same? A protocol analysis of insight in compound remote associate problems / E.A. Cranford, J. Moss // *J. Probl. Solving*. – 2012. – Vol. 4(2). – P.128–153.

79. De Lange F.P., Spronk M., Willems R.M., Toni I., Bekkering H. Complementary systems for understanding action intentions / F. De Lange, M. Spronk, R. Willems, I. Toni, H. Bekkering. // *Curr. Biol.* - 2008. - V. 18. - P. 454–457.

80. Derakshan, N., Eysenck, M.W. Anxiety, processing efficiency, and cognitive performance: new developments from attentional control theory / N. Derakshan, M.W. Eysenck // *Eur. Psychol.* – 2009. – Vol. 14. – P.168–176.

81. Desimone, R. Visual attention mediated by biased competition in extrastriate visual cortex / R. Desimone // *Philos. Trans. R. Soc. Lond.* – 1998. – Vol. 353. – P.1245–1255.

82. Dietrich, A., Kanso, R. A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight / A. Dietrich, R. Kanso // *Psychol. Bull.* – 2010. – Vol. 136. – P.822–848.
83. Dreisbach, G. Mechanisms of cognitive control: the functional role of task rules / G. Dreisbach // *Curr. Dir. Psychol. Sci.* – 2012. – Vol. 21. – P.227–231.
84. Dreisbach, G., Goschke, T. How PA modulates cognitive control: reduced perseveration at the cost of increased distractibility / G. Dreisbach, T. Goschke // *J. Exp. Psychol.: Learn. Mem. Cogn.* – 2004. – Vol. 30(2). – P.343–353.
85. Easterbrook, J.A. The effect of emotion on cue utilization and the organization of behavior / J. A. Easterbrook // *Psychol. Rev.* – 1959. – Vol. 66. – P.183–201.
86. Fransson P. How default is the default mode of brain function? Further evidence from intrinsic BOLD signal fluctuations / P. Fransson // *Neuropsychologia.* - 2006. - V. 44. - P. 2836–2845
87. Federmeier, K.D., Kirson, D.A, Moreno, E.M., Kutas, M. Effects of transient, mild mood states on semantic memory organization and use: an event-related potential investigation in humans / K.D. Federmeier, D.A. Kirson, E.M. Moreno, M. Kutas // *Neurosci. Lett.* – 2001. – Vol. 305. – P.149– 152.
88. Field D.J., Hayes A., Hess R.F. Contour integration by the human visual system: evidence for a local «association field» / D.J. Field, A. Hayes, R.F. Hess // *Vision Res.* – 1993. – Vol.33 (2). – P. 173-193.
89. Folley, B.S., Park, S. Verbal creativity and schizotypal personality in relation to prefrontal hemispheric laterality: a behavioral and near-infrared optical imaging study / B.S. Folley, S. Park // *Schizophr. Res.* – 2005. – Vol. 80. – P.271–282.
90. Foreman, N., Hemmings R. The Gollin incomplete figures test: a flexible, computerised version / N. Foreman, R. Hemmings // *Perception.* – 1987. – Vol. 4. – № 16. – P. 543.

91. Forster, J., Friedman, R.S., Liberman, N. Temporal construal effects on abstract and concrete thinking: consequences for insight and creative cognition / J. Forster, R.S. Friedman, N. Liberman // *J. Personal. Soc. Psychol.* 2004. – Vol. 87. – P.177–189.
92. Fredrickson, B., Branigan, C. Positive emotions broaden the scope of attention and thought-action repertoires / B. Fredrickson, C. Branigan // *Cogn. Emot.* – 2005. – Vol. 19. –P.13–32.
93. Friedman R.S., Forster J. The Effects of promotion and prevention cues on creativity / R.S. Friedman, J. Forster // *Journal of Personality and Social Psychology.*- 2005. – Vol. 81. - N6. – P.1001-1013.
94. Fukushima, K., Miyake, S. Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of visual pattern recognition / K. Fukushima, S. Miyake // *Competition and cooperation in neural nets.* – Berlin: Springer Berlin Heidelberg. – 1982. – P. 267-285.
95. Gallese V., Fadiga L., Fogassi L., Rizzolatti G. Action recognition in the premotor cortex / V. Gallese, L. Fadiga, L. Fogassi, G. Rizzolatti // *Brain.* – 1996. – Vol.119. – P. 593–609.
96. Gasper, K., Clore, G.L. Attending to the big picture: mood and global versus local processing of visual information / K. Gasper, G.L. Clore // *Psychol. Sci.* – 2002. – Vol. 13. – P.34–40.
97. Ghosh A., Petkov N., Robustness of shape descriptors to incomplete contour representations / A. Ghosh, N. Petkov // *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* – 2005. – Vol.27. – № 11. – P.1793-1804.
98. Glick, M.L., Lockhart, R.S. Cognitive and Affective Components of Insight / M.L. Glick, R.S. Lockhart / In: *The Nature of Insight* (Eds.: R.J. Sternberg, J.E. Davidson). - Cambridge, MA: The MIT Press. – 1995. P. 197-228.
99. Gollin, E.S. Developmental studies of visual recognition of incomplete objects / E. Gollin // *Perceptual and Motor Skills.* – 1960. - Vol. 11. – N 3. - P.289-298.

100. Grafton S.T. Embodied cognition and the simulation of action to understand others / S.T. Grafton // *Ann. N. Y. Acad. Sci.* - 2009. - V. 1156. - P. 97–117.
101. Hess R., Field D. Integration of contours: new Insights / R. Hess, D. Field // *Trends in Cognitive Sciences.* – 1999. – Vol.3. - № 12. – P. 480-486.
102. Holmqvist K., Andersson R. Eye tracking: a comprehensive guide to methods, paradigms and measures / K. Holmqvist, R. Andersson. – Lund, Sweden: Lund Eye tracking Research Institute. – 2017. – 715 p.
103. Hutsler, J, Galuske, R.A. Hemispheric asymmetries in cerebral cortical networks / J. Hutsler, R.A. Galuske // *Trends Neurosci.* – 2003. – Vol. 26. – P. 429– 435.
104. Iacoboni M., Lieberman M.D., Knowlton B.J., Molnar-Szakacs I., Moritz M., Throop C.J. Watching social interactions produces dorsomedial prefrontal and medial parietal BOLD fMRI signal increases compared to a resting baseline / M. Iacoboni, M.D. Lieberman, B.J. Knowlton, I. Molnar-Szakacs, M. Moritz, C.J. Throop // *Neuroimage.* – 2004. – Vol. 21. – P. 1167-1173.
105. Isen, A.M., Daubman, K.A., Nowicki, G.P. Positive affect facilitates creative problem solving / A.M. Isen, K.A. Daubman, G.P. Nowicki // *J. Personal. Soc. Psychol.* 1987. – Vol. 52. – P.1122–1131.
106. Isen, A.M., Johnson, M.M., Mertz, E., Robinson, G.F. The influence of positive affect on the unusualness of word associations / A.M. Isen, M.M. Johnson, E. Mertz, G.F. Robinson // *J. Personal. Soc. Psychol.* – 1985. – Vol. 48. – P.1413–1426.
107. Jacob, R., Schall, M., Scheibel, A.B. A quantitative dendritic analysis of Wernicke's area in humans. II. Gender, hemispheric, and environmental factors / R. Jacob, M. Schall, A.B. Scheibel // *J. Comp. Neurol.* – 1993. – Vol. 327. – P.97–111.
108. Jarosz, A.F., Colflesh, G.J., Wiley, J. Uncorking the muse: Alcohol intoxication facilitates creative problem solving / A.F. Jarosz, G.J. Colflesh, J. Wiley // *Conscious. Cogn.* – 2012. – Vol. 21. – P.487–493.

109. Jensen, O., Mazaheri, A. Shaping functional architecture by oscillatory alpha activity: gating by inhibition / O. Jensen, A. Mazaheri // *Front. Hum. Neurosci.* – 2010. – Vol. 4. – P.186
110. Jung-Beeman, M. Bilateral brain processes for comprehending natural language / M. Jung-Beeman // *Trends Cogn. Sci.* – 2005. – Vol. 9. – P.512–518
111. 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 / M. Jung-Beeman, E.M. Bowden, J. Haberman, J.L. Frymiare, S. Arambel-Liu, R. Greenblatt, R.J. Reber, J. Kounios // *PLoS Biol.* – 2004. – Vol. 2(4). – P.97.
112. Kaplan, C.A., Simon, H.A. In search of insight / C.A. Kaplan, H.A. Simon // *Cogn. Psychol.* – 1990. – Vol. 22. – P.374–419.
- 113.
114. Kerns, J.G., Cohen, J.D., MacDonald, A.W., Cho, R.Y., Stenger, V.A., Carter, C.S. Anterior cingulate, conflict monitoring and adjustments in control / J.G. Kerns, J.D. Cohen, A.W. MacDonald, R.Y. Cho, V.A. Stenger, C.S. Carter // *Science* 2004. – Vol. 303. – P.1023–1026.
115. Kershaw, T.C., Ohlsson, S. Multiple causes of difficulty in insight: The case of the nine-dot problem / T.C. Kershaw, S. Ohlsson // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition.* – 2004. - N30. – P.3–13.
116. Keuken M.C., Müller-Axt C., Langner R., Eickhoff S.B., Forstmann B.U., Neumann J. Brain networks of perceptual decision-making: an fMRI ALE meta-analysis / M.C. Keuken, C. Müller-Axt, R. Langner, S.B. Eickhoff, B.U. Forstmann, J. Neumann // *Frontiers in Human Neuroscience.* – 2014. – Vol. 8. – Article 445. – P. 1-14.
117. Knoblich, G., Ohlsson, S., Haider, H., Rhenius, D. Constraint relaxation and chunk decomposition in insight problem solving / G. Knoblich, S. Ohlsson, H. Haider, D. Rhenius // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition.* – 1999. - N25. – P.1534-1555.

118. Knoblich, G., Ohlsson, S., Raney, G.E. An eye movement study of insight problem solving / G. Knoblich, S. Ohlsson, G.E. Raney // *Memory & Cognition*. – 2001. – N.29. – P.1000–1009.
119. Koffka, K. *Principles of Gestalt Psychology* / K. Koffka. – New York: Harcourt, Brace & Co. – 1935. – 720 p.
120. Kohler W. *Gestalt psychology: An introduction to new concepts in modern psychology* / W. Kohler. – New York: Liveright. – 1947. – 230 p.
121. Kounios J. On the continuity of thought and the representation of knowledge: Electrophysiological and behavioral time-course measures reveal levels of structure in semantic memory / J. Kounios // *Psychon. Bull. Rev.* – 1996. – Vol. 3. – P.265–286.
122. Kounios, J., Beeman, M. The Aha! moment. The cognitive neuroscience of insight / J. Kounios, M. Beeman // *Curr. Dir. Psychol. Sci.* – 2009. – Vol. 18(4). – P.210–216.
123. Kounios, J., Beeman, M. *The Cognitive Neuroscience of Insight* / J. Kounios, M. Beeman // *Annu. Rev. Psychol.* – 2014. – Vol. 65. – P.71–93.
124. Kounios, J., Fleck, J.I., Green, D.L., Payne, L., Stevenson, J.L., Bowden, E.M., Jung-Beeman, M. The origins of insight in resting-state brain activity / J. Kounios, J.I. Fleck, D.L. Green, L. Payne, J.L. Stevenson, E.M. Bowden, M. Jung-Beeman // *Neuropsychologia*. – 2008. – Vol. 46(1). – P.281–291.
125. Kounios, J., Frymiare, J.L., Bowden, E.M., Fleck, J.I., Subramaniam, K., Parrish, T.B., Jung-Beeman, M. The prepared mind: Neural activity prior to problem presentation predicts subsequent solution by sudden insight / J. Kounios, J.L. Frymiare, E.M. Bowden, J.I. Fleck, K. Subramaniam, T.B. Parrish, M. Jung-Beeman // *Psychol. Sci.* – 2006. – Vol. 17(10). – P.882–890.
126. Kounios, J., Osman, A.M., Meyer, D.E. Structure and process in semantic memory: new evidence based on speed–accuracy decomposition / J. Kounios, A.M. Osman, D.E. Meyer // *J. Exp. Psychol.: Gen.* – 1987. – Vol. 116. – P.3–25.

127. Kovach I., Julesz B. A closed curve is much more than an incomplete one: effect of closure in figure-ground segmentation (contour detection/field theory) / I. Kovach, B. Julesz // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – August 1993. – V. 90. – P.7495-7497.
128. Lane, R.D., Reiman, E.M., Axelrod, B., Yun, L., Holmes, A. Neural correlates of emotional awareness: evidence of an interaction between emotion and attention in the anterior cingulate cortex / R.D. Lane, E.M. Reiman, B. Axelrod, L. Yun, A. Holmes // *J. Cogn. Neurosci.* – 1998. – Vol. 10. – P.525–535.
129. Logothetis N.K., Wandell B.A. Interpreting the BOLD signal / N.K. Logothetis, B.A. Wandell // *Annu Rev Physiol.* – 2004. - N66. – P.735-769.
130. Ludmer, R., Dudai, Y., Rubin, N. Uncovering camouflage: Amygdala activation predicts long-term memory of induced perceptual insight / R. Ludmer, Y. Dudai, N. Rubin // *Neuron.* – 2011. – Vol. 69. – P.1002–1014.
131. Luo, J., Li, W., Fink, A., Jia, L., Xiao, X., Qiu, J., Zhang, Q. The time course of breaking mental sets and forming novel associations in insight-like problem solving: an ERP investigation / J. Luo, W. Li, A. Fink, L. Jia, X. Xiao, J. Qiu, Q. Zhang // *Exp. Brain Res.* 2011. – Vol. 212. – P.583–591.
132. Mashal, N., Faust, M., Hendler, T., Jung-Beeman, M. Hemispheric differences in processing the literal interpretation of idioms: converging evidence from behavioral and fMRI studies / N. Mashal, M. Faust, T. Hendler, M. Jung-Beeman // *Cortex.* – 2008. – Vol. 44. – P.848–860.
133. Mayberg, H.S., Liotti, M., Brannan, S.K., McGinnis, S., Mahurin, R.K., Jerabek, P.A., Silva, J.A., Tekell, J.L., Martin, C.C., Lancaster, J.L., Fox, P.T. Reciprocal limbic-cortical function and negative mood: converging PET findings in depression and normal sadness / H.S. Mayberg, M. Liotti, S.K. Brannan, S. McGinnis, R.K. Mahurin, P.A. Jerabek, J.A. Silva, J.L. Tekell, C.C. Martin, J.L. Lancaster, P.T. Fox // *Am. J. Psychiatry* 1999. – Vol. 156. – P.675–682.
134. MacGregor, J.N., Ormerod, T.C., Chronicle, E.P. Information processing and insight: A process model of performance on the nine-dot and

related problems / J.N. MacGregor, T.C. Ormerod, E.P. Chronicle // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. – 2001. – N.27. – P.176–201.

135. McKiernan K.A., Kaufman J.N., Kucera-Thompson J., Binder J.R.A parametric manipulation of factors affecting task-induced deactivation in functional neuroimaging // *J. Cogn. Neurosci.* - 2003. - V. 15. - P. 394–408

136. Mednick, S. The associative basis of the creative process / S. Mednick // *Psychol. Rev.* – 1962. – Vol. 69(3). – P.220–232.

137. Metcalfe, J., Wiebe, D. Intuition in insight and noninsight problem solving / J. Metcalfe, D. Wiebe // *Mem. Cogn.* – 1987. – Vol. 15(3). – P.238–246.

138. Metuki, N., Sela, T., Lavidor, M. Enhancing cognitive control components of insight problem solving by anodal tDCS of the left dorsolateral prefrontal cortex / N. Metuki, T. Sela, M. Lavidor // *Brain Stimul.* 2012. – Vol. 5. – P.110–115.

139. Meyer, D., Schvaneveldt, R. Facilitation in recognizing pairs of words: evidence of a dependence between retrieval operations / D. Meyer, R. Schvaneveldt // *J Exp Psychol.* – 1971. – Vol. 90(2). – P.227-234.

140. Meyer, D.E., Irwin, D.E., Osman, A.M., Kounios, J. The dynamics of cognition and action: mental processes inferred from speed-accuracy decomposition / D.E. Meyer, D.E. Irwin, A.M. Osman, J. Kounios // *Psychol. Rev.* – 1988. – Vol. 95. – P.183–237.

141. Mikhailova, E.S., Slavutskay, A.V., Gerasimenko, N.Yu. Gender difference in recognition of spatially transformed figures: behavioral data and event-related potentials (ERPs) / E.S. Mikhailova, A.V. Slavutskay, N.Yu. Gerasimenko // *Neuroscience letters.* – 2012. – Vol. 524. – P.74-78.

142. Miller, E.K., Cohen, J.D. An integrative theory of prefrontal cortex function / E.K. Miller, J.D. Cohen // *Annu. Rev. Neurosci.* 2001. – Vol. 24. – P.167– 202.

143. Newell, A. Unified theories of cognition / A. Newell. – Harvard University Press. – 1990. – 576 p.

144. Newell, A., Simon, A. Human problem solving / A. Newell, A. Simon. - Inglewood Cliff, NJ: Prentice-Hall. – 1972. – 920 p.
145. Ohlsson, S. Information-processing explanations of insight and related phenomena / In: Advances in the psychology of thinking (Eds.: M.T. Keane, K.J. Gilhooly). - New York, NY: Harvester Wheatsheaf. – 1992. – P. 1-44.
146. Olshausen B., Field D. Sparse coding of sensory inputs. Current opinion in neurobiology. – 2004. - №14. – P.481-487.
147. Ogawa, S., Lee, T.M., Kay, A.R., Tank, D.W. Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation / S. Ogawa, T.M. Lee, A.R. Kay, D.W. Tank // Proc Natl Acad Sci USA. – 1990. – Vol.87. – P. 9868–9872.
148. O'Regan J., Rensink R., Clark J. Change-blindness as a result of 'mudsplashes' / J. O'Regan, R. Rensink, J. Clark // Nature. – 1999. – Vol. 398. P.34. (10.1038/17953)
149. Ormerod, T.C., MacGregor, J.N., Chronicle, E.P. Dynamics and constraints in insight problem solving / T.C. Ormerod, J.N. MacGregor, E.P. Chronicle // Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition. – 2002. –N.28. – P.791–799.
150. Pulvermuller, F., Preissl, H., Lutzenberger, W., Birbaumer, N. Brain rhythms of language: nouns versus verbs / F. Pulvermuller, H. Preissl, W. Lutzenberger, N. Birbaumer // Eur. J. Neurosci. - 1996. – N 8. –P.937–941.
151. Rayner, K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research / K. Rayner // Psychological bulletin. – 1998. – Vol. 124. - N 3. – P.372-422.
152. Ray, W.J., Cole, H.W. EEG alpha activity reflects attentional demands, and beta activity reflects emotional and cognitive processes / W.J. Ray, H.W. Cole // Science. – 1985. – Vol. 228. – P.750–752.
153. Reverberi, C., Toraldo, A., D'Agostini, S., Skrap, M. Better without (lateral) frontal cortex? Insight problems solved by frontal patients / C. Reberberi, A. Toraldo, S. D'Agostini, M. Skrap // Brain. – 2005. – Vol. 128. – P.2882–2890.

154. Richardson, D.C., Spivey, M.J. Eye Tracking: Characteristics and Methods / D.C. Richardson, M.J. Spivey // *Encyclopedia of Biomaterials and Biomedical Engineering*. – 2004. -P. 568-572.
155. Rizzolatti, G., Sinigaglia, C. Further reflections on how we interpret the actions of other / G. Rizzolatti, C. Sinigaglia // *Nature*. – 2008. – Vol.455. – P. 589.
156. Rizzolatti, G., Sinigaglia, C. The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: interpretations and misinterpretations / G. Rizzolatti, C. Sinigaglia // *Nat. Rev. Neurosci.* – 2010. – Vol.11. – P. 264–274.
157. Rizzolatti, G., Craighero, L. The mirror-neuron system / G. Rizzolatti, L. Craighero // *Annu. Rev. Neurosci.* – 2004. – Vol. 27. – P. 169–192.
158. Rizzolatti, G., Fogassi, L., and Gallese, V. Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action / G. Rizzolatti, L. Fogassi, V. Gallese // *Nat. Rev. Neurosci.* – 2001. – Vol. 2. – P. 661–670.
159. Rowe, G., Hirsch, J.B., Anderson, A.K. Positive affect increases the breadth of attentional selection / G. Rowe, J.B. Hirsch, A.K. Anderson // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. – 2007. – Vol. 101. – P.383–388.
160. Saaty, T.L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process // *International Journal of Services Sciences*. - 2008.- N 1 – P.83.
161. Sabour, S., Frosst, N., Hinton, G. Dynamic Routing Between Capsules / S. Sabour, N. Frosst, G. Hinton // 31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017), Long Beach, CA, USA. – 7 Nov 2017. – arXiv:1710.09829v2 [cs.CV]
162. Sandkuhler, S., Bhattacharya, J. Deconstructing insight: EEG correlates of insightful problem solving / S. Sandkuhler, J. Bhattacharya // *PLoS ONE*. – 2008. – Vol. 3(1). – P.e1459.
163. Scheerer, M. Problem-solving / M. Scheerer // *Scientific American*. – 1963. – Vol.208. – N4. – P.118-128.
164. Scheibel, A.B., Fried, I., Paul, L., Forsythe, A., Tomiyasu, U., Wechsler, A., Kao, A., Slotnick, J. Differentiating characteristics of the human

speech cortex: a quantitative Golgi study / A.B. Scheibel, I. Fried, L. Paul, A. Forsythe, U. Tomiyasu, A. Wechsler, A. Kao, J. Slotnick // *The Dual Brain: Hemispheric Specialization in Humans*. – Ed. D.F. Benson, E. Zaidel. – New York: The Guilford. 1985. – P.65-74.

165. Schooler, J.W., Ohlsson, S., Brooks, K. Thoughts beyond words: When language overshadows insight / J.W. Schooler, S. Ohlsson, K. Brooks // *Journal of Experimental Psychology: General*. – 1993. – Vol.122. – P.166–183.

166. Seifert, C.M., Meyer, D.E., Davidson, N., Patalano, A.L., Yaniv, I. Demystification of cognitive insight: Opportunistic assimilation and the prepared-mind perspective / C.M. Seifert, D.E. Meyer, N. Davidson, A.L. Patalano, I. Yaniv // *The nature of insight*. 1st paperback. – Ed. R.J.Sternberg, J.E. Davidson. – Cambridge, MA: MIT Press. – 1995. – P. 65–124.

167. Seldon, L.H. Structure of human auditory cortex. I. Cytoarchitectonics and dendritic distributions / L.H. Seldon // *Brain Res*. – 1981. – Vol. 229. – P.277–294.

168. Skinner B. *The Behavior of Organisms: an experimental analysis* / B. Skinner. – New York: Appleton-Century-Crofts. – 1938. – 457 p.

169. Smit, D.J., Boomsma, D.I., Schnack, H.G., Hulshoff Pol, H.E., de Geus, E.J. Individual differences in EEG spectral power reflect genetic variance in gray and white matter volumes / D.J. Smit, D.I. Boomsma, H.G. Schnack, H.E. Hulshoff Pol, E.J. de Geus // *Twin Res. Hum. Genet*. – 2012. – Vol. 15. – P.384–392.

170. Smith, R.W., Kounios, J. Sudden insight: all-or-none processing revealed by speed–accuracy decomposition / R.W. Smith, J. Kounios // *J. Exp. Psychol.: Learn. Mem. Cogn*. – 1996. – Vol. 22(6). – P.1443–1462.

171. St.George, M., Kutas, M., Martinez, A., Sereno, M.I. Semantic integration in reading: engagement of the right hemisphere during discourse processing / M. St.George, M. Kutas, A. Martinez, M.I. Serono // *Brain*. – 1999. – Vol. 122. – P.1317–1325.

172. Sternberg, R.J., Davidson, J.E. *The Nature of Insight* / R.J. Sternberg, J.E. Davidson. – Cambridge, MA: MIT Press. – 1996. – 618 p.
173. Subramaniam, K., Kounios, J., Parrish, T.B., Jung-Beeman, M. A brain mechanism for facilitation of insight by positive affect / K. Subramaniam, J. Kounios, T.B. Parrish M. Jung-Beeman // *J. Cogn. Neurosci.* – 2009. – Vol. 21. – P.415–432.
174. Tallon-Baudry, C., Bertrand, O. Oscillatory gamma activity in humans and its role in object representation / C. Tallon-Baudry, O. Bertrand // *Trends Cogn. Sci.* – 1999. – Vol. 3. – P.151–162.
175. Tardif, E., Clarke, S. Intrinsic connectivity of human auditory areas: a tracing study with Dil / E. Tardif, S. Clarke // *Eur. J. Neurosci.* – 2001. – Vol. 13. – P.1045–1050.
176. Thorndike, E.L. *Animal intelligence 1898* / E.L. Thorndike. – Create Space Independent Publishing Platform. – 2017. – 142 p.
177. Topolinski, S., Reber, R. Gaining insight into the “aha” experience / S. Topolinski, R. Reber // *Curr. Dir. Psychol. Sci.* 2010. – Vol. 19. – P.402–405.
178. Trope, Y., Liberman, N. Construal-level theory of psychological distance / Y. Trope, N. Liberman // *Psychol. Rev.* – 2010. – Vol. 117. – P.440–463.
179. Valueva, E., Lapteva, E., Ushakov D., Aha-cueing” in problem solving / E. Valueva, E. Lapteva, D. Ushakov // *Learning and Individual Differences.* – 2016. – Vol. 52. – P. 204-208.
180. Van Overwalle F. Social cognition and the brain: a meta-analysis / F. Van Overwalle // *Hum. Brain MaP.* - 2009. - V. 30. - P. 829–858.
181. Van Steenburgh, J., Fleck, J.I., Beeman, M., Kounios, J. *Insight* / J. van Steenburgh, J.I. Fleck, M. Beeman, J. Kounios // *The Oxford Handbook of Thinking and Reasoning.* – Ed. K. Holyoak, R. Morrison. – New York: Oxford Univ. Press. – 2012. – P. 475-491.
182. Virtue, S., Haberman, J., Clancy, Z., Parrish, T., Jung-Beeman, M. Neural activity of inferences during story comprehension / S. Virtue, J. Haberman,

Z. Clancy, T. Parrish, M. Jung-Beeman // *Brain Res.* – 2006. – Vol. 1084. – P.104–114.

183. Virtue, S., Parrish, T., Beeman, M. Inferences during story comprehension: cortical recruitment affected by predictability of events and working memory capacity / S. Virtue, T. Parrish, M. Beeman // *J. Cogn. Neurosci.* – 2008. – Vol. 20. – P.2274–2284.

184. Wallas, G. *The Art of Thought* / G. Wallas. – England: Sallis Press. – 2014. – 188 p.

185. Wegbreit, E., Suzuki, S., Grabowecky, M., Kounios, J., Beeman, M. Visual attention modulates insight versus analytic solving of verbal problems / E. Wegbreit, S. Suzuki, M. Grabowecky, J. Kounios, M. Beeman // *J. Probl. Solving.* – 2012. – Vol. 4(2). – Artic.5.

186. Weisberg, R.W., Alba, J.W. An examination of the alleged role of “fixation” in the solution of several “insight” problems / R.W. Weisberg, J.W. Alba // *Journal of Experimental Psychology: General.* – 1981. – N. 110. – P.169–192.

187. Weissman, D.H., Gopalakrishnan, A., Hazlett, C.J., Woldorff, M.G. Dorsal anterior cingulate cortex resolves conflict from distracting stimuli by boosting attention toward relevant events / D.H. Weissman, A. Gopalakrishnan, C.J. Hazlett, M.G. Woldorff // *Cereb. Cortex.* – 2005. – Vol. 15. – P.229–237.

188. Wertheimer, M. *Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt, II.* [Investigations in Gestalt Theory: II. Laws of organization in perceptual forms] / M. Wertheimer // *Psychologische Forschung.* – 1923. - N4. – P. 301–350.

189. Wu, L., Knoblich, G., Wei, G., Luo, J. How perceptual processes help to generate new meaning: an EEG study of chunk decomposition in Chinese characters / L. Wu, G. Knoblich, G. Wei, J. Luo // *Brain Res.* – 2009. – Vol. 1296. – P.104-112.

Онлайн ресурс для статистической обработки данных

<https://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>

ПРИЛОЖЕНИЕ №1

Значения парного Т-Теста, р различных областей головного мозга.

Fusiform Gyrus

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т-Теста
	L_Fusiform_Gyrus	R_Fusiform_Gyrus	Fusiform_Gyrus	Fusiform_Gyrus
3	0,030924584	0,028250024	0,955042325	0
6	0,098310624	0,054033652	0,378295842	0
9	0,119567678	0,044564687	0,171682121	0
12	0,118404435	0,034537673	0,166776114	0
15	0,118174276	0,069921274	0,419666877	0
18	0,155565159	0,108578201	0,446094691	0
21	0,214448661	0,178640112	0,510322286	0
24	0,234364138	0,250433214	0,80300263	0
27	0,2280306	0,240681404	0,787517649	0
30	0,234670924	0,25212593	0,756159236	0
33	0,138172852	0,168690098	0,578705979	0
36	0,173496246	0,188142536	0,760718137	0
39	0,11908634	0,150249355	0,383908817	0
42	0,114881632	0,169082532	0,260977604	0
45	0,036491279	0,081476124	0,330138228	0

Inferior Frontal_Gyrus

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т-Теста
	L_Inferior Frontal_Gyrus	R_Inferior Frontal_Gyrus	Inferior Frontal_Gyrus	Inferior Frontal_Gyrus
3	-0,034202386	0,027061428	0,081572849	0
6	-0,058434472	0,048422363	0,038157256	1
9	0,012025911	0,062781448	0,361703942	0
12	0,098370584	0,085855221	0,76426692	0
15	0,085344391	0,042781555	0,19072781	0
18	0,077166446	0,077513427	0,991141354	0
21	0,103260512	0,124089017	0,51438205	0
24	0,105125345	0,14227636	0,385930766	0
27	0,110027822	0,137022464	0,490290975	0
30	0,042417282	0,098668574	0,159249449	0
33	0,090507821	0,102552098	0,707835849	0
36	0,107205969	0,093200058	0,696941204	0
39	0,09102775	0,089888653	0,96894524	0
42	0,011927246	0,080801142	0,101959619	0
45	0,011566485	0,045871203	0,3191503	0

Insula

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_Insula	R_Insula	Insula	Insula
3	0,036405927	0,006756292	0,412833838	0
6	0,105209317	0,04820564	0,210742739	0
9	0,110147323	0,04682547	0,185710546	0
12	0,135790098	0,068165304	0,226190394	0
15	0,03304829	-0,048003946	0,064097263	0
18	0,033550025	-0,0602208	0,051964311	0
21	0,01888497	-0,077812501	0,030439089	1
24	0,007478794	-0,096944322	0,01016469	1
27	0,001770949	-0,080276529	0,0384486	1
30	-0,028633101	-0,053784848	0,471947466	0
33	-0,009515132	-0,063324216	0,147438406	0
36	0,016682263	-0,013566503	0,407860136	0
39	0,059134414	-0,008827628	0,025381282	1
42	0,03399969	-0,009114845	0,190840254	0
45	0,040562058	0,011340731	0,425753136	0

Posterior_Cingulate

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т-Теста
	L_Posterior_Cingulate	R_Posterior_Cingulate	Posterior_Cingulate	Posterior_Cingulate
3	0,046761211	0,030753496	0,325180782	0
6	0,125181065	0,105098534	0,381817254	0
9	0,251680648	0,221141365	0,32390214	0
12	0,226872288	0,191688196	0,194493239	0
15	0,075361875	0,037825294	0,12016946	0
18	-0,007176714	-0,03307431	0,184525771	0
21	0,0099983	0,005182564	0,797329717	0
24	-0,012734108	-0,038172802	0,268144533	0
27	-0,037440625	-0,046574678	0,556562398	0
30	-0,069528048	-0,039868749	0,161705185	0
33	-0,010346028	-0,028299391	0,436857499	0
36	0,022037004	-0,002028933	0,177305966	0
39	0,06491446	0,060970338	0,866687666	0
42	0,000595614	0,026518369	0,348066354	0
45	0,012072915	0,030308314	0,295996494	0

Precuneus

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_Precuneus	R_Precuneus	Precuneus	Precuneus
3	0,067284	0,10217	0,18947	0
6	0,135334	0,178415	0,005782	1
9	0,233109	0,270357	0,256944	0
12	0,205009	0,214019	0,699452	0
15	0,090179	0,078853	0,476626	0
18	0,019673	0,006787	0,513335	0
21	-0,00131	0,0162	0,320808	0
24	-0,00474	0,025524	0,091231	0
27	-0,02317	0,004716	0,198942	0
30	-0,03908	0,006746	0,028545	1
33	-0,00379	0,017358	0,270759	0
36	0,059286	0,051665	0,759004	0
39	0,038865	0,073629	0,138101	0
42	0,049744	0,081603	0,104962	0
45	0,022749	0,060897	0,110855	0

Rectal_Gyrus

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_Rectal_Gyrus	R_Rectal_Gyrus	Rectal_Gyrus	Rectal_Gyrus
3	0,067595	-0,01183	0,03382	1
6	0,074512	0,040345	0,360568	0
9	0,032585	-0,02175	0,244651	0
12	0,06712	0,084722	0,674137	0
15	0,090482	0,060328	0,369469	0
18	0,009905	-0,03112	0,205589	0
21	0,028003	-0,04659	0,050243	0
24	0,071146	-0,03539	0,012161	1
27	-0,01779	-0,09041	0,045527	1
30	0,009938	-0,10236	0,003235	1
33	0,00056	-0,07368	0,016377	1
36	0,07083	-0,01527	0,0057	1
39	0,097735	-0,01183	0,011156	1
42	0,094287	0,018589	0,012058	1
45	0,051126	-0,03913	0,0172	1

Thalamus

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_Thalamus	R_Thalamus	Thalamus	Thalamus
3	-0,08241	-0,00528	0,020851	1
6	0,026109	0,008491	0,729569	0
9	0,038981	0,021815	0,76698	0
12	0,139065	0,124613	0,686365	0
15	0,073227	0,064983	0,752635	0
18	0,033288	0,043776	0,769532	0
21	0,015268	0,04219	0,378441	0
24	0,032872	0,103948	0,010125	1
27	0,09773	0,115022	0,578281	0
30	-0,00112	0,0813	0,004912	1
33	-0,01782	0,070676	0,002719	1
36	0,049595	0,077695	0,353285	0
39	0,045049	0,073021	0,311671	0
42	0,01485	0,081898	0,06498	0
45	-0,04001	0,01717	0,195552	0

Uvula

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_Uvula	R_Uvula	Uvula	Uvula
3	0,046527	0,050357	0,94085	0
6	0,065574	0,038556	0,474019	0
9	0,138795	0,055762	0,15153	0
12	0,193359	0,102332	0,194115	0
15	0,12354	0,107665	0,737857	0
18	0,048138	0,077419	0,503297	0
21	0,083946	0,067074	0,664578	0
24	0,077018	0,075337	0,963308	0
27	0,048925	0,051642	0,953339	0
30	0,073111	0,072962	0,997465	0
33	0,014716	0,038595	0,564541	0
36	0,005198	0,051822	0,343829	0
39	0,056076	0,107694	0,25563	0
42	0,036695	0,09086	0,260261	0
45	0,098429	0,092134	0,906196	0

BA 6

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_6	R_area_6	area_6	area_6
3	0,012265	0,025714	0,592019	0
6	0,087613	0,100817	0,66152	0
9	0,06346	0,098472	0,256689	0
12	0,077128	0,101713	0,474681	0
15	0,042959	0,038217	0,883051	0
18	0,082684	0,086833	0,880497	0
21	0,107146	0,131874	0,254848	0
24	0,049518	0,083359	0,012623	1
27	0,073756	0,072206	0,955863	0
30	0,029357	0,036616	0,732649	0
33	0,039518	0,061084	0,416473	0
36	0,084206	0,1101	0,27972	0
39	0,066206	0,096821	0,344599	0
42	0,07019	0,084491	0,692442	0
45	0,022572	0,041712	0,544478	0

BA 7

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_7	R_area_7	area_7	area_7
3	0,04502	0,072061	0,254274	0
6	0,091813	0,129532	0,033668	1
9	0,209259	0,252338	0,12249	0
12	0,227289	0,234733	0,824044	0
15	0,12347	0,127391	0,878266	0
18	0,068357	0,085156	0,421716	0
21	0,039801	0,133308	0,003675	1
24	0,033487	0,143706	0,003059	1
27	0,013928	0,116273	0,002779	1
30	0,003075	0,097347	0,001636	1
33	0,014929	0,07201	0,057714	0
36	0,073954	0,085275	0,607777	0
39	0,033749	0,065586	0,155946	0
42	0,045512	0,064815	0,491419	0
45	0,002884	0,011778	0,768648	0

BA 8

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т-Теста
	L_area_8	R_area_8	area_8	area_8
3	0,024355	0,094529	0,100466	0
6	-0,02351	0,108541	0,010253	1
9	0,083031	0,185125	0,04524	1
12	0,096931	0,163807	0,18115	0
15	0,013342	0,01513	0,956006	0
18	-0,04411	-0,00265	0,314222	0
21	-0,02506	0,024644	0,198382	0
24	-0,01223	0,057649	0,008002	1
27	-0,00534	0,044021	0,045078	1
30	-0,00068	0,017108	0,649572	0
33	-0,01342	0,020679	0,438948	0
36	0,087018	0,072835	0,582485	0
39	0,092597	0,09195	0,978123	0
42	0,058207	0,068448	0,78107	0
45	0,08703	0,072456	0,574155	0

BA 9

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показате ли парного Т-Теста
	L_area_9	R_area_9	area_9	area_9
3	-0,00976	0,022718	0,184954	0
6	-0,03056	0,036017	0,008999	1
9	0,053931	0,121739	0,160615	0
12	0,108158	0,108965	0,976558	0
15	0,026546	0,033019	0,792234	0
18	0,021158	0,053166	0,1091	0
21	0,009312	0,075028	0,010435	1
24	0,017383	0,110866	0,001878	1
27	0,020827	0,091695	0,014525	1
30	-0,00865	0,053723	0,041438	1
33	-0,00228	0,022547	0,440161	0
36	0,085908	0,076646	0,61938	0
39	0,052754	0,066465	0,683276	0
42	0,037711	0,059952	0,509957	0
45	0,015484	0,050528	0,261361	0

BA 10

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_10	R_area_10	area_10	area_10
3	0,032009	0,038927	0,800476	0
6	-0,08377	-0,05248	0,288534	0
9	0,027874	0,07897	0,15537	0
12	0,120064	0,118778	0,972037	0
15	0,014218	-0,02166	0,338876	0
18	-0,023	-0,01231	0,790834	0
21	-0,08528	-0,0645	0,479048	0
24	-0,0873	-0,03915	0,153439	0
27	-0,06466	-0,02366	0,355678	0
30	-0,09286	-0,03982	0,325182	0
33	-0,0766	-0,06309	0,78533	0
36	-0,04089	-0,05698	0,755041	0
39	-0,01182	-0,01014	0,971653	0
42	-0,04129	-0,01835	0,609986	0
45	0,01016	0,009791	0,992842	0

BA 13

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_13	R_area_13	area_13	area_13
3	0,03632	0,005423	0,449356	0
6	0,112036	0,058873	0,209753	0
9	0,11436	0,065391	0,314912	0
12	0,140139	0,070953	0,206662	0
15	0,039992	-0,04348	0,065255	0
18	0,036366	-0,06539	0,039185	1
21	0,024061	-0,08435	0,034741	1
24	0,017853	-0,10475	0,00708	1
27	0,010193	-0,08902	0,039425	1
30	-0,02202	-0,0554	0,404069	0
33	-0,01102	-0,07192	0,153977	0
36	0,018238	-0,01649	0,394722	0
39	0,054562	-0,0098	0,052259	0
42	0,0402	-0,01234	0,183158	0
45	0,039262	0,014371	0,522582	0

BA 17

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т-Теста
	L_area_17	R_area_17	area_17	area_17
3	0,110099	-0,05821	0,015768	1
6	0,028222	-0,02518	0,183639	0
9	-0,10419	-0,16105	0,310989	0
12	-0,03049	-0,05405	0,748416	0
15	-0,01735	-0,01405	0,956307	0
18	0,015188	0,025598	0,861954	0
21	0,133016	0,098602	0,638027	0
24	0,122119	0,210194	0,284716	0
27	0,146199	0,134187	0,884993	0
30	0,119539	0,121158	0,979226	0
33	0,092191	0,080581	0,887454	0
36	0,168599	0,053998	0,119598	0
39	0,182137	0,154864	0,579181	0
42	0,095035	0,043268	0,214539	0
45	0,098785	0,018154	0,151644	0

BA 18

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_18	R_area_18	area_18	area_18
3	0,087244	0,00927	0,136326	0
6	0,062627	0,015303	0,292897	0
9	0,005632	-0,03473	0,247474	0
12	0,012349	-0,04173	0,220736	0
15	0,001271	0,02552	0,449238	0
18	0,031351	0,057221	0,619733	0
21	0,114741	0,118601	0,913201	0
24	0,126028	0,23641	0,092175	0
27	0,139528	0,197646	0,213141	0
30	0,147186	0,216356	0,134558	0
33	0,069716	0,171232	0,078636	0
36	0,091591	0,124076	0,457059	0
39	0,129421	0,148447	0,508521	0
42	0,080196	0,142804	0,143525	0
45	0,07408	0,090417	0,689186	0

BA 19

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_19	R_area_19	area_19	area_19
3	0,083861	0,043347	0,333719	0
6	0,119316	0,085288	0,350695	0
9	0,153639	0,097668	0,115358	0
12	0,129031	0,062194	0,125631	0
15	0,089426	0,062772	0,511262	0
18	0,126418	0,094315	0,448111	0
21	0,216918	0,218062	0,976192	0
24	0,239259	0,296892	0,180193	0
27	0,22882	0,29296	0,057871	0
30	0,207855	0,301768	0,023393	1
33	0,123588	0,197175	0,032175	1
36	0,148523	0,178362	0,347146	0
39	0,125526	0,138503	0,691255	0
42	0,076041	0,111407	0,295444	0
45	0,039114	0,048649	0,77352	0

BA 20

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_20	R_area_20	area_20	area_20
3	-0,00585	0,068683	0,099305	0
6	0,035579	0,118373	0,044939	1
9	0,116448	0,176517	0,116861	0
12	0,142866	0,197939	0,153675	0
15	0,079543	0,183174	0,032075	1
18	0,084673	0,147638	0,094536	0
21	0,040684	0,155942	0,000744	1
24	0,052551	0,169596	0,000994	1
27	0,026152	0,132847	0,005887	1
30	-0,04927	0,106073	0,001409	1
33	-0,03603	0,058237	0,003641	1
36	0,033131	0,145624	0,009069	1
39	0,003211	0,101781	0,052466	0
42	0,009568	0,112418	0,009273	1
45	-0,01416	0,055076	0,074968	0

BA 21

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_21	R_area_21	area_21	area_21
3	0,0254	0,056102	0,476714	0
6	0,04816	0,109372	0,169613	0
9	0,169989	0,253925	0,109967	0
12	0,1971	0,220991	0,595395	0
15	0,116131	0,103088	0,686004	0
18	0,041673	0,027149	0,655536	0
21	0,011569	-0,04047	0,096624	0
24	0,023594	0,003508	0,717471	0
27	0,046257	-0,03358	0,070838	0
30	-0,02102	-0,02812	0,793066	0
33	-0,03184	-0,07182	0,082555	0
36	0,050444	0,007991	0,236681	0
39	0,030512	-0,00219	0,351008	0
42	0,014597	0,015661	0,968716	0
45	0,005236	0,014987	0,798264	0

BA 22

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_22	R_area_22	area_22	area_22
3	0,002335	-0,02852	0,652098	0
6	0,052494	0,051215	0,980562	0
9	0,192659	0,223013	0,706804	0
12	0,153074	0,100487	0,459725	0
15	-0,00234	-0,09202	0,051818	0
18	-0,0805	-0,16352	0,017874	1
21	-0,10025	-0,19617	0,008948	1
24	-0,09102	-0,1784	0,038076	1
27	-0,09221	-0,13795	0,278097	0
30	-0,06515	-0,12786	0,081131	0
33	-0,13431	-0,15055	0,685754	0
36	-0,07095	-0,09204	0,686716	0
39	-0,03286	-0,05791	0,493099	0
42	-0,02385	-0,05338	0,473971	0
45	0,005917	0,002381	0,946842	0

BA 23

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_23	R_area_23	area_23	area_23
3	0,03089	0,072172	0,053225	0
6	0,079882	0,138707	0,044476	1
9	0,283012	0,317985	0,200517	0
12	0,28858	0,304989	0,543828	0
15	0,11018	0,100303	0,72424	0
18	0,004629	0,011381	0,79764	0
21	-0,00944	-0,00882	0,964863	0
24	-0,07407	-0,04446	0,110771	0
27	-0,07669	-0,05281	0,148858	0
30	-0,13464	-0,08093	0,007186	1
33	-0,08203	-0,06215	0,238824	0
36	-0,01574	-0,002	0,415734	0
39	0,037299	0,069781	0,245449	0
42	-0,00771	0,01573	0,3987	0
45	0,013377	0,02605	0,660663	0

BA 24

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_24	R_area_24	area_24	area_24
3	-0,0235	0,021026	0,040511	1
6	0,066408	0,098639	0,141943	0
9	0,118289	0,114671	0,887103	0
12	0,162	0,163084	0,953487	0
15	0,034451	0,05298	0,161077	0
18	-0,01353	0,006625	0,317524	0
21	-0,00601	-0,02655	0,246706	0
24	-0,08204	-0,06521	0,258816	0
27	-0,1219	-0,07905	0,033797	1
30	-0,17194	-0,11697	0,009341	1
33	-0,09923	-0,05715	0,018445	1
36	-0,02063	-0,02467	0,786129	0
39	-0,02606	0,003371	0,22922	0
42	0,033757	0,060238	0,192788	0
45	-0,01308	0,030984	0,121749	0

BA 30

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_30	R_area_30	area_30	area_30
3	0,032643	0,021063	0,644884	0
6	0,124455	0,104823	0,395905	0
9	0,254095	0,241153	0,6789	0
12	0,236312	0,2059	0,208005	0
15	0,059365	0,032046	0,349807	0
18	-0,00805	-0,04512	0,246782	0
21	0,008715	0,018323	0,688747	0
24	0,012803	-0,02935	0,084509	0
27	0,004776	-0,01309	0,301175	0
30	-0,03533	-0,01291	0,3683	0
33	-0,00359	-0,00607	0,925764	0
36	0,041771	0,025773	0,529581	0
39	0,064361	0,070796	0,845868	0
42	-0,01192	0,04133	0,053647	0
45	-0,00325	0,015877	0,471919	0

BA 31

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_31	R_area_31	area_31	area_31
3	0,079582	0,115476	0,171603	0
6	0,127702	0,203587	0,012326	1
9	0,22923	0,273931	0,23611	0
12	0,230704	0,265769	0,129168	0
15	0,095256	0,088607	0,756011	0
18	-0,02618	-0,03825	0,65243	0
21	-0,07064	-0,06673	0,854473	0
24	-0,08845	-0,08527	0,886391	0
27	-0,12051	-0,12179	0,946628	0
30	-0,13512	-0,10341	0,232506	0
33	-0,0849	-0,0726	0,561865	0
36	0,018827	-0,0034	0,296476	0
39	0,051115	0,07165	0,426782	0
42	0,033073	0,069827	0,145036	0
45	0,038553	0,110546	0,017061	1

BA 32

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_32	R_area_32	area_32	area_32
3	-0,02259	0,011753	0,133882	0
6	0,06836	0,110332	0,066806	0
9	0,121847	0,144325	0,571391	0
12	0,175173	0,194801	0,649828	0
15	0,065029	0,119692	0,120741	0
18	0,01318	0,062154	0,156006	0
21	0,014708	0,024148	0,664921	0
24	-0,00761	0,027827	0,031497	1
27	-0,04899	-0,01403	0,013927	1
30	-0,09297	-0,06666	0,200069	0
33	-0,06825	-0,04989	0,496587	0
36	0,028998	0,013636	0,35735	0
39	0,0245	0,033227	0,619447	0
42	0,040145	0,06351	0,214346	0
45	-0,0296	0,023669	0,019143	1

BA 36

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_36	R_area_36	area_36	area_36
3	0,034105	0,06337	0,363293	0
6	0,032866	0,097916	0,344405	0
9	0,098789	0,171976	0,170778	0
12	0,080964	0,103027	0,627574	0
15	0,006326	0,089126	0,155576	0
18	0,013787	0,097241	0,121535	0
21	0,040557	0,158305	0,025708	1
24	0,044465	0,109272	0,099763	0
27	0,036995	0,129425	0,052866	0
30	0,015625	0,066036	0,424248	0
33	0,036708	0,093921	0,231329	0
36	0,085943	0,097432	0,828437	0
39	0,02232	0,097758	0,109534	0
42	-0,02207	0,077558	0,094674	0
45	0,009345	0,070401	0,099851	0

BA 37

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_37	R_area_37	area_37	area_37
3	-0,02482	0,026448	0,098846	0
6	0,019849	0,069202	0,176712	0
9	0,085894	0,111732	0,503188	0
12	0,075452	0,110678	0,513287	0
15	0,091484	0,116537	0,590962	0
18	0,122262	0,176157	0,333175	0
21	0,226162	0,289245	0,199396	0
24	0,228961	0,271493	0,394972	0
27	0,240956	0,313049	0,125521	0
30	0,225098	0,264763	0,357376	0
33	0,116326	0,208145	0,021449	1
36	0,154906	0,22933	0,022572	1
39	0,07262	0,166362	0,017925	1
42	0,040022	0,135072	0,001702	1
45	-0,04091	0,072866	0,014133	1

BA 39

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_39	R_area_39	area_39	area_39
3	0,037745	0,027475	0,724869	0
6	0,085028	0,108547	0,516424	0
9	0,205078	0,215782	0,74737	0
12	0,202887	0,173636	0,474651	0
15	0,06047	0,060223	0,994549	0
18	0,012523	0,059041	0,198033	0
21	-0,00678	0,076536	0,003127	1
24	-0,00956	0,075731	0,000579	1
27	-0,01495	0,038124	0,157789	0
30	-0,0589	-0,00476	0,164764	0
33	-0,03364	0,005261	0,376238	0
36	0,035831	0,070082	0,402858	0
39	0,033541	0,058509	0,390712	0
42	0,015248	0,016108	0,98289	0
45	0,02715	-0,02192	0,240841	0

BA 40

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_40	R_area_40	area_40	area_40
3	0,027473	0,06761	0,329284	0
6	0,06022	0,137843	0,114915	0
9	0,209301	0,271031	0,266364	0
12	0,212879	0,250712	0,432658	0
15	0,071207	0,080458	0,780489	0
18	0,007054	0,036887	0,386319	0
21	-0,0145	0,033987	0,172022	0
24	0,014	0,042694	0,167734	0
27	0,003411	0,043173	0,113228	0
30	-0,05828	0,010811	0,023189	1
33	-0,01194	0,000617	0,721037	0
36	0,07073	0,06424	0,859899	0
39	0,034784	0,072418	0,316616	0
42	0,07052	0,112664	0,421758	0
45	0,074509	0,09713	0,65506	0

BA 45

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_45	R_area_45	area_45	area_45
3	-0,03926	0,000476	0,290221	0
6	-0,07496	0,072845	0,012813	1
9	0,016279	0,110709	0,129976	0
12	0,05731	0,094329	0,339864	0
15	0,052969	0,070155	0,689941	0
18	0,070474	0,097527	0,556337	0
21	0,078119	0,122718	0,34674	0
24	0,08582	0,144429	0,23268	0
27	0,113398	0,131676	0,589698	0
30	0,010482	0,097036	0,070637	0
33	0,082045	0,080283	0,969371	0
36	0,091525	0,057773	0,456317	0
39	0,079438	0,068941	0,747773	0
42	0,006412	0,040467	0,441274	0
45	0,024602	0,049825	0,552974	0

BA 46

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_46	R_area_46	area_46	area_46
3	-0,05847	0,000421	0,123559	0
6	-0,11836	-0,03462	0,064333	0
9	-0,02324	0,014928	0,392429	0
12	0,012506	0,010199	0,957262	0
15	-0,02002	-0,08162	0,141867	0
18	0,043702	0,051612	0,82392	0
21	0,063209	0,093295	0,495456	0
24	0,069568	0,117938	0,320701	0
27	0,071258	0,186711	0,022411	1
30	0,008805	0,099054	0,046674	1
33	0,078812	0,032199	0,374697	0
36	0,096335	0,056481	0,485981	0
39	0,033273	0,010443	0,647165	0
42	-0,04969	-0,00322	0,310175	0
45	-0,00281	0,017777	0,620856	0

BA 47

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_area_47	R_area_47	area_47	area_47
3	0,020763	0,036941	0,49166	0
6	-0,0189	0,028957	0,274319	0
9	0,045909	0,046322	0,994294	0
12	0,13758	0,071158	0,262748	0
15	0,137901	0,028376	0,052055	0
18	0,088666	0,012558	0,144543	0
21	0,108332	0,05717	0,301859	0
24	0,130394	0,069382	0,208178	0
27	0,102783	0,06166	0,269328	0
30	0,070847	0,057646	0,75504	0
33	0,102055	0,078855	0,49389	0
36	0,119544	0,070019	0,098167	0
39	0,121353	0,080411	0,186254	0
42	0,067007	0,091522	0,50882	0
45	0,061921	0,041808	0,481973	0

Amygdala

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_Amygdala	R_Amygdala	Amygdala	Amygdala
3	-0,05052	0,03769	0,122671	0
6	-0,02102	0,02182	0,442243	0
9	-0,00203	0,085021	0,259553	0
12	0,113018	0,094043	0,711069	0
15	0,064043	0,049473	0,822403	0
18	-0,01424	0,008868	0,773893	0
21	0,050544	0,063026	0,828646	0
24	0,076887	0,101815	0,651314	0
27	0,013961	0,084715	0,259612	0
30	0,028052	0,089284	0,342691	0
33	0,007757	0,029958	0,750635	0
36	0,044046	0,052737	0,894953	0
39	0,099544	0,142356	0,483604	0
42	0,023525	0,059045	0,502023	0
45	0,017184	0,06552	0,428825	0

Anterior_Commissure

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т-Теста
	L_Anterior Commissure	R_Anterior Commissure	Anterior_Commissure	Anterior_Commissure
3	0,111204114	0,054204	0,116028	0
6	-0,001771489	-0,00811	0,890354	0
9	0,11820432	0,089684	0,414007	0
12	0,046075499	0,070318	0,559473	0
15	0,092768442	0,036672	0,152258	0
18	0,037162733	-0,03373	0,191548	0
21	0,101204372	0,089667	0,778761	0
24	0,082604887	0,041036	0,275066	0
27	0,068070054	0,026104	0,410416	0
30	-0,069133435	-0,0468	0,496181	0
33	0,048355852	0,031657	0,594316	0
36	0,080319138	0,024334	0,207789	0
39	0,041465006	0,054561	0,716062	0
42	0,092061418	0,004071	0,076817	0
45	0,048046558	-0,01347	0,039692	1

Caudate_Body

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_Caudate_Body	R_Caudate_Body	Caudate_Body	Caudate_Body
3	-0,07742	-0,05605	0,557778	0
6	-0,07169	-0,07101	0,982985	0
9	-0,05286	-0,0255	0,394683	0
12	0,057384	0,06961	0,805711	0
15	0,020639	0,070843	0,249265	0
18	-0,04717	-0,0722	0,435247	0
21	-0,03237	-0,01953	0,670611	0
24	0,061266	0,055419	0,800242	0
27	0,032959	0,068663	0,281985	0
30	0,025582	0,025243	0,990946	0
33	0,027072	0,056828	0,414239	0
36	-0,03087	-0,01826	0,661177	0
39	0,038627	0,079878	0,251331	0
42	0,031271	0,02431	0,789464	0
45	0,006508	0,022651	0,462114	0

Caudate_Head

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_Caudate_Head	R_Caudate_Head	Caudate_Head	Caudate_Head
3	0,064596	0,047801	0,531727	0
6	0,066339	0,061152	0,829586	0
9	0,106694	0,1205	0,787997	0
12	0,099123	0,106631	0,817939	0
15	0,086363	0,064431	0,533706	0
18	0,045855	0,00564	0,153115	0
21	0,055749	0,02885	0,597838	0
24	0,077318	0,065354	0,790442	0
27	0,02335	-0,04343	0,091152	0
30	0,038551	0,035828	0,940957	0
33	0,044925	0,025023	0,45768	0
36	0,07791	0,045764	0,376465	0
39	0,072706	0,096673	0,551039	0
42	0,097309	0,038242	0,081763	0
45	-0,00696	-0,01435	0,823184	0

Caudate_Tail

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_Caudate_Tail	R_Caudate_Tail	Caudate_Tail	Caudate_Tail
3	0,011408	-0,00386	0,707818	0
6	0,020752	0,03119	0,771713	0
9	0,001167	-0,00656	0,854056	0
12	0,076566	0,112018	0,524468	0
15	0,103593	0,099828	0,940689	0
18	0,065584	0,051575	0,739365	0
21	0,097011	0,011893	0,054755	0
24	0,098972	0,061094	0,341216	0
27	0,089091	0,06	0,565892	0
30	0,116206	0,121883	0,905859	0
33	0,10911	0,145447	0,365966	0
36	0,044842	0,109511	0,039866	1
39	0,103438	0,139122	0,427326	0
42	0,086011	0,108356	0,527958	0
45	0,077902	0,071324	0,866258	0

Corpus_Callosum

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_Corpus_Callosum	R_Corpus_Callosum	Corpus_Callosum	Corpus_Callosum
3	-0,03284	-0,03799	0,754557	0
6	0,030952	0,029334	0,921952	0
9	0,083053	0,114473	0,249417	0
12	0,132906	0,142269	0,595889	0
15	0,092942	0,071218	0,194294	0
18	-0,00522	-0,00714	0,903638	0
21	0,040519	0,006213	0,060709	0
24	0,00136	0,004457	0,845042	0
27	-0,00503	0,014836	0,31371	0
30	0,007444	0,014491	0,688589	0
33	0,008506	-0,00461	0,521029	0
36	0,030494	0,018398	0,461816	0
39	0,054072	0,053852	0,992141	0
42	0,07416	0,067076	0,730746	0
45	0,077165	0,061834	0,399502	0

Dentate

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_Dentate	R_Dentate	Dentate	Dentate
3	0,049528	0,022231	0,355406	0
6	0,058618	0,038162	0,554158	0
9	0,118307	0,085581	0,178957	0
12	0,099145	0,089846	0,607621	0
15	0,066251	0,086358	0,540593	0
18	0,076649	0,073471	0,88648	0
21	0,078035	0,088047	0,7125	0
24	0,09589	0,095292	0,984351	0
27	0,085505	0,115383	0,269875	0
30	0,045988	0,060923	0,554672	0
33	0,075274	0,085075	0,671779	0
36	0,099	0,123572	0,312133	0
39	0,108347	0,110644	0,932273	0
42	0,075279	0,06619	0,710815	0
45	0,086272	0,073184	0,67676	0

Hippocampus

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_Hippocampus	R_Hippocampus	Hippocampus	Hippocampus
3	0,034023	0,035228	0,981567	0
6	0,017138	-0,00275	0,773129	0
9	0,075116	0,081507	0,912171	0
12	0,114305	0,084255	0,680564	0
15	0,058038	0,024982	0,663709	0
18	0,03387	0,014686	0,788459	0
21	0,097092	0,00378	0,113408	0
24	0,09248	0,023743	0,282543	0
27	0,08238	0,061443	0,74313	0
30	0,101113	0,0931	0,885293	0
33	0,063052	0,052175	0,885822	0
36	0,074344	0,068061	0,928577	0
39	0,146939	0,136401	0,865521	0
42	0,074201	0,058542	0,82275	0
45	0,07178	0,048433	0,711264	0

Hypothalamus

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_Hypothalamus	R_Hypothalamus	Hypothalamus	Hypothalamus
3	0,111145	0,074741	0,509225	0
6	-0,0325	0,048488	0,133693	0
9	0,107147	0,129387	0,602451	0
12	0,094615	0,10469	0,851531	0
15	0,015249	0,083541	0,171135	0
18	-0,01247	0,053367	0,056574	0
21	0,023371	0,075831	0,302391	0
24	0,07836	0,083363	0,905838	0
27	0,074879	0,124482	0,300604	0
30	0,02905	0,084458	0,382668	0
33	0,088246	0,143592	0,117369	0
36	0,041348	0,087624	0,195093	0
39	0,029227	0,012939	0,757666	0
42	0,067413	0,152011	0,040821	1
45	0,031533	0,0803	0,10401	0

Pulvinar

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_Pulvinar	R_Pulvinar	Pulvinar	Pulvinar
3	-0,06559	-0,03867	0,536947	0
6	0,01656	-0,04686	0,3187	0
9	0,037969	0,006118	0,495385	0
12	0,085831	0,154365	0,113058	0
15	0,054674	0,090963	0,259794	0
18	0,024473	0,043977	0,665597	0
21	0,062769	0,059827	0,932812	0
24	0,042207	0,074829	0,480325	0
27	0,124791	0,149102	0,386877	0
30	0,042844	0,123523	0,028227	1
33	-0,01157	0,056557	0,094234	0
36	0,091285	0,126479	0,301861	0
39	0,033256	0,094292	0,100532	0
42	0,036296	0,072665	0,122188	0
45	0,009814	0,080711	0,020435	1

Putamen

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_Putamen	R_Putamen	Putamen	Putamen
3	0,029737	0,004242	0,444613	0
6	0,045896	0,007049	0,234616	0
9	0,087917	0,059115	0,41843	0
12	0,113666	0,050757	0,047532	1
15	0,055165	-0,01994	0,014451	1
18	0,035687	-0,00405	0,287271	0
21	0,04903	0,027382	0,465058	0
24	0,055188	0,023097	0,305587	0
27	0,056562	0,021508	0,116503	0
30	0,015254	-0,0223	0,184488	0
33	0,02415	0,048164	0,475297	0
36	0,057884	0,051576	0,78159	0
39	0,051265	0,057551	0,807001	0
42	-0,00543	0,001288	0,814721	0
45	-0,01078	0,000774	0,693563	0

Substantia_Nigra

	Лево	Право	Парный Т-Тест, р	Статистически значимые показатели парного Т- Теста
	L_Substantia_Nigra	R_Substantia_Nigra	Substantia_Nigra	Substantia_Nigra
3	-0,0606	-0,02466	0,613357	0
6	-0,07103	0,005037	0,243717	0
9	0,041411	0,055051	0,838084	0
12	-0,00594	0,021611	0,692838	0
15	0,009756	-0,02587	0,690593	0
18	-0,04584	0,009899	0,466389	0
21	-0,02502	-0,01123	0,833853	0
24	-0,04055	0,006439	0,514616	0
27	0,01539	0,037463	0,740571	0
30	-0,04369	0,020088	0,350608	0
33	-0,05575	-0,07136	0,809261	0
36	-0,02455	0,012015	0,459381	0
39	0,015221	0,010931	0,947311	0
42	-0,05213	-0,03674	0,792291	0
45	-0,01164	-0,03861	0,676568	0



ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
 ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
 «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 (СПбГУ)

21.06.2017

№ 02-124

Официальное уведомление об одобрении проекта

Этический комитет Санкт-Петербургского государственного университета в области исследований с привлечением людей рассмотрел представленные материалы (протокол исследования, формы информированного согласия на участие в исследовании) и постановил одобрить протокол исследования, формы информированного согласия и проведение исследования по проекту «**Изучение нейрофизиологических механизмов инсайта**».

Руководитель проекта: Шелепин Константин Юрьевич,
 генеральный директор компании «Нейроиконика-Ассистив»

С 21.06.2017 года по 20.06.2018 года.
 Протокол № 75 от 21.06.2017 года

Председатель
 Этического комитета СПбГУ
 в области исследований
 с привлечением людей

А.В. Шаболтас

Исполнитель: Филимошенко Т.Ю. (812) 328-94-01

**ДОКУМЕНТ
ИТИЧЕСКИМ КОМИТЕТОМ
САНКТ - ПЕТЕРБУРГСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**
С. 11 * 06. 20 17 ПО * 20 * 06. 20 18

ID участника _____

Информированное согласие на участие в исследовании 1

Исследовательская группа лаборатории физиологии зрения ИФ РАН им. И.П. Павлова и компании «Нейроконика-Ассистив» приглашает Вас принять участие в исследовательском проекте процессов интуитивного принятия решения.

Руководитель исследования — К.Ю. Шелепин.

Прежде чем Вы примите решение об участии в этом исследовании, мы бы хотели предоставить Вам информацию об этом исследовании, о том, что ожидается от Вас и о возможных рисках.

Цель исследования

Основной целью исследования является изучение нейрофизиологических механизмов (нейронных сетей) возникновения интуитивного решения.

Условия участия

Вы можете принять участие в исследовании, если:

Вам больше 18 лет,

Вы являетесь носителем русского языка,

Обладаете нормальной (или скорректированной до нормальной) остротой зрения,

Вы правша,

Добровольность участия.

1. Ваше участие в исследовании исключительно добровольно.
2. Вы можете принять решение не участвовать в исследовании сейчас или отказаться продолжать участвовать на любом этапе без каких-либо негативных последствий.

Анонимность.

Данные, полученные в ходе исследования, будут использованы исключительно для научных целей на условиях анонимности. Никакие личные данные (такие как имя и фамилия, домашний адрес, телефон) предоставлять не потребуется. В случае, если Вы согласитесь принять участие в исследовании, Вам будет присвоен цифровой код.

Процедура исследования.

Процедура предполагает однократный визит в лабораторию, в ходе которого Вам будет предложено выполнить задание на распознавание образов (картинок), предъявляемых на экране компьютера. При последовательном предъявлении картинок с постепенным наращиванием контура рисунка от Вас будет требоваться, как можно скорее распознать, что изображено на картинке и сообщить об этом экспериментатору. После каждой картинке Вам будет необходимо отметить свое эмоциональное состояние в ходе выполнения задания.

Продолжительность исследования.

Общая продолжительность исследования составит около часа.

ДОКУМЕНТ **ОДОБРЕН**
ЭТИЧЕСКИМ КОМИТЕТОМ
САНКТ - ПЕТЕРБУРГСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
 СЭМ №06.2017 ПО №10 №06.2018

Возможные неудобства и риски.

Мы не ожидаем возникновения каких либо рисков для Вашего физического здоровья в ходе проведения исследования. Помните, что Вы можете принять решение о прекращении участия в любой момент времени без каких-либо негативных последствий.

Выгоды.

Данные, которые планируется получить могут не иметь прямой выгоды для Вас. Однако, изучаемые вопросы являются актуальными для фундаментального понимания основ функционирования мозга человека. Более полное понимание исследуемых механизмов инсайта, которое достигается при обобщении результатов исследований, подобных этому, в дальнейшем может быть полезным для оптимизации подходов в лечении расстройств речи, зрения, а также могут быть использованы в таких областях медицины, как неврология, нейрохирургия и психиатрия.

Данное исследование рассмотрено и одобрено Этическим комитетом Санкт-Петербургского государственного университета [телефон 8(812) 327-79-69], куда Вы можете обратиться, если у Вас возникнут вопросы как у участника исследования.

Если у Вас возникнут вопросы, касающиеся исследования, Вы можете позвонить ответственному исполнителю исследования Константину Юрьевичу Шелепину по телефону 8(909) 579-46-24.

Я, подтверждаю, что участник осознанно и добровольно принял решение об участии в исследовании

Сотрудник проекта _____ Подпись _____ Дата _____

Ответственный исследователь _____ Подпись _____ Дата _____

ДОКУМЕНТ
 ЮРИДИЧЕСКИЙ КОМПЬЮТЕРСКИЙ
 САНКТ - ПЕТЕРБУРГСКОГО
 ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
 от 21.06.2014 № 10.06.2014

Информированное согласие на участие в исследовании 2

Исследовательская группа лаборатории физиологии зрения ИФ РАН им.И.П. Павлова и компании «Нейроконика-Ассистив» приглашает Вас принять участие в исследовательском проекте процессов интуитивного принятия решения.

Руководитель исследования – К.Ю. Шелепин.

Прежде чем Вы примите решение об участии в этом исследовании, мы бы хотели предоставить Вам информацию об этом исследовании, о том, что ожидается от Вас и о возможных рисках.

Цель исследования

Основной целью исследования является изучение нейрофизиологических механизмов (нейронных сетей) возникновения интуитивного решения.

Условия участия

Вы можете принять участие в исследовании, если:

Вам больше 18 лет,

Вы являетесь носителем русского языка,

Обладаете нормальной (или скорректированной до нормальной) остротой зрения,

Вы правша,

Не имеете противопоказаний к проведению магнитно-резонансного исследования в томографе (МРТ): установленный кардиостимулятор, электронные или металлические протезы, имплантаты или осколки, кровоостанавливающие клипсы различных сосудов, инсулиновые насосы, нервные стимуляторы, протезы клапанов сердца, декомпенсированная сердечная недостаточность, беременность, наличие татуировок, выполненных с помощью красителей с содержанием металлических соединений.

Добровольность участия.

1. Ваше участие в исследовании исключительно добровольно.
2. Вы можете принять решение не участвовать в исследовании сейчас или отказаться продолжать участвовать на любом этапе без каких-либо негативных последствий.

Конфиденциальность.

Данные, полученные в ходе исследования, будут использованы исключительно для научных целей на условиях конфиденциальности. Ваши личные данные (такие как имя и фамилия, домашний адрес, телефон), в соответствии с п. 1. ч.1 ст.6 Федерального закона № 152-ФЗ от 27.07.2006 г., останутся конфиденциальными. При обработке данных исследования будут использоваться только Ваши ответы на тестовые вопросы, данные МРТ и данные о времени реакции.

Процедура исследования.

Процедура предполагает однократный визит в медицинский центр, в ходе которого Вам будет предложено пройти МРТ-исследование Вашего мозга с одновременным последовательным предъявлением серии картинок с постепенным наращиванием контура рисунка.

Магнитно-резонансное исследование проводится с помощью томографа, который представляет собой большую цилиндрическую трубу, окруженную магнитом. Вы будете находиться на подвижном столе, который скользит внутри магнита. Использование мощных магнитных полей, высокочастотных импульсов и компьютерной системы позволит получить детальное изображение Вашего мозга.

ДОКУМЕНТ
 ЭТИЧЕСКОГО КОМИТЕТА
 САНКТ - ПЕТЕРБУРГСКОГО
 ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
 от 06.06.2017 по 20.06.2018

Продолжительность исследования.

Общая продолжительность исследования составит около часа.

Возможные неудобства и риски.

Мы не ожидаем возникновения каких либо рисков для Вашего физического здоровья в ходе проведения исследования. Исследовательские условия и метод регистрации не предполагают воздействия внешних факторов, вредных для здоровья. Такие исследования активно проводятся в исследовательских центрах по всему миру. Ионизирующее (рентгеновское) излучение при МРТ НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ. Поскольку во время исследования Вы будете находиться в неподвижном лежачем положении, это может вызвать чувство некоторого дискомфорта или мышечного утомления.

Выгоды.

Данные, которые планируется получить могут не иметь прямой выгоды для Вас. Однако, изучаемые вопросы являются актуальными для фундаментального понимания основ функционирования мозга человека. Более полное понимание исследуемых механизмов инсайта, которое достигается при обобщении результатов исследований, подобных этому, в дальнейшем может быть полезным для оптимизации подходов в лечении расстройств речи, зрения, а также могут быть использованы в таких областях медицины, как неврология, нейрохирургия и психиатрия. Полученные в ходе исследования МРТ снимки Вашего мозга будут проанализированы специалистом. В случае обнаружения патологии Вам будет рекомендовано углубленное обследование и консультация врача. По Вашему желанию данные исследования Вашего мозга (МРТ-снимки) будут предоставлены абсолютно бесплатно (высланы по электронной почте).

Данное исследование рассмотрено и одобрено Этическим комитетом Санкт-Петербургского государственного университета [телефон 8(812) 327-79-69], куда Вы можете обратиться, если у Вас возникнут вопросы как у участника исследования.

Если у Вас возникнут вопросы, касающиеся исследования, Вы можете позвонить ответственному исполнителю исследования Константину Юрьевичу Шелепину по телефону 8(909) 579-46-24.

ФИО участника _____ Подпись _____ Дата _____

Ответственный исследователь _____ Подпись _____ Дата _____

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017618774

АССИСТИВНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
УПРАВЛЕНИЯ КОМПЬЮТЕРОМ ДЛЯ ЛИЦ С
НАРУШЕНИЯМИ ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА
EYESCOMMUNICATOR

Правообладатель: *Общество с ограниченной ответственностью
«Нейроконика-Нейромеханика» (RU)*

Авторы: *Шелепин Евгений Юрьевич (RU),
Шелепин Константин Юрьевич (RU)*

Заявка № 2017615643

Дата поступления 14 июня 2017 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ 08 августа 2017 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев

