

На правах рукописи

Талалай Илья Витальевич

Функциональная организация предвосхищающего внимания при произвольной преднастройке и имплицитном научении

Специальность 19.00.02 – «Психофизиология»
(психологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата психологических наук

Москва – 2019

Работа выполнена в лаборатории нейрофизиологии когнитивной деятельности
Федерального государственного бюджетного научного учреждения Института
возрастной физиологии Российской академии образования (ИВФ РАО)

**Научный
руководитель:**

доктор биологических наук, профессор, член-
корреспондент РАО
Мачинская Регина Ильинична

Официальные оппоненты:

Фаликман Мария Вячеславовна

доктор психологических наук, руководитель
департамента психологии факультета социальных
наук ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский университет «Высшая школа
экономики»

Сысоева Ольга Владимировна

кандидат психологических наук, ведущий научный
сотрудник ФГБУН Института высшей нервной
деятельности и нейрофизиологии РАН

Ведущая организация:

Институт общественных наук ФГБОУ ВО
«Российской академии народного хозяйства и
государственной службы при Президенте
Российской Федерации»

Защита состоится «30» мая 2019 года в 11 часов на заседании диссертационного совета
Д 002.016.03 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института психологии Российской академии наук (ИП РАН) по адресу: 129366, Москва,
ул. Ярославская, д. 13, корп. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального
государственного бюджетного учреждения науки Института психологии Российской
академии наук (ИП РАН): www.ipras.ru.

Автореферат разослан «___» ----- 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат психологических наук



Никитина Елена Альфредовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

Внимание – один из наиболее интенсивно изучаемых в современной психологии и психофизиологии психических процессов. Несмотря на это, в психологической науке нет единого представления о функциях и различных видах внимания. Наряду с классическим определением внимания как концентрации сознания на определенном реальном или идеальном объекте (James, 1890; Рубинштейн, 1998), существует множество его теоретических моделей и классификаций (Дормашев, Романов, 2002; Фаликман, Спиридонов, 2011; Cohen, 2014, обзор).

Важнейший вопрос теоретических и эмпирических исследований в психологии — является ли внимание одним из атрибутов восприятия и «встроено» в анализ текущей информации, или это самостоятельная психическая функция, необходимая для реализации других психических функций, но не сводящаяся к ним.

Настоящее исследование основано на представлениях об активном характере внимания как самостоятельного процесса, результатом которого является контроль целенаправленного поведения. В отечественной психологии представление о внимании как «свернутом» действии контроля было предложено П.Я. Гальпериным (Гальперин, 1958) в рамках развития культурно-исторического подхода к психике, который исходит из активного характера психического отражения в целом, возникающего в процессе деятельности - целенаправленного взаимодействия субъекта с окружающим миром (Выготский, 1983).

В пользу теоретических представлений П.Я. Гальперина о внимании как самостоятельной психической функции, продуктом которой является контроль процессов обработки информации и поведения, говорят многочисленные экспериментальные исследования внимания в когнитивной психологии. Анализ когнитивных моделей внимания указывает на их постепенную эволюцию от представлений о внимании как фильтре текущей информации на разных стадиях ее обработки (Broadbent, 1958; Treisman, 1960) до концепций, так или иначе включающих компоненты, зависящие от намерений субъекта: блок регуляции внимания (Shiffrin, Schneider, 1977), блок «политики распределения» энергетических ресурсов в соответствии с текущими намерениями (Kahneman, Treisman, 1984), «схемы-источники», управляющие действиями и ресурсами внимания в зависимости от мотивации (Norman, Shallice, 1986).

Неотъемлемой частью современной экспериментальной психологии являются исследования мозговых механизмов психической деятельности (Poldrack, Yarkoni, 2016, обзор), которые помогают психологам лучше понять компонентный состав и функциональную организацию различных психических процессов. Психофизиологические исследования свидетельствуют в пользу существования специализированных регуляторных систем мозга или «источников внимания» (Posner, Petersen, 1990; Coull, 1998; Posner, Fan, 2008; Мачинская, 2003, 2015, обзоры; Cohen, 2014, обзор), осуществляющих избирательную модуляцию обрабатываемых информацией нейронных сетей. Существование специализированных «источников внимания» в мозге является весомым аргументом в пользу представлений о внимании как функции контроля.

Предвосхищение будущих событий и подготовка к ним – ключевой элемент контролирующей функции внимания при осуществлении сложных форм поведения. Исходя из понимания психического отражения как активного процесса, зависящего от внутреннего состояния и целей поведения субъекта, представляется не только

оправданным, но и необходимым рассматривать период, предшествующий сенсорной обработке внешней информации, как важный этап функционирования механизмов селективного внимания. В современных условиях, когда поток информации постоянно возрастает вместе с ростом неопределенности при решении различных бытовых и профессиональных задач, особенно важным является изучение внимания «направленного в будущее» или предвосхищающего внимания (*anticipatory attention*), его внутренней организации и зависимости от различных условий деятельности. Возрастающий интерес к исследованию антиципационного внимания в современной психологии неразрывно связан с развитием методов неинвазивного исследования активности мозга. Именно в этих исследованиях в явном виде ставится задача анализа процессов, предшествующих обработке значимой информации (Наатанен, 1998; Brunia, 1999; Brunia, Voxtel, 2001, 2004; Brunia et al., 2003, 2011; Klimesch, 2012; Liu et al., 2016).

Несмотря на большое количество исследований внимания в психологии и нейронауке, вопрос о возможности избирательной подготовки к анализу значимой информации (преднастройке) остается дискуссионным. В связи с тем, что большинство исследований внимания в рамках когнитивной экспериментальной психологии анализируют постстимульный период, об избирательном влиянии антиципационного внимания на обработку значимой информации можно судить лишь косвенно по изменению скорости и точности решения когнитивной задачи. Это делает особенно актуальным проведение исследования, сочетающего анализ психометрических параметров когнитивной деятельности с психофизиологическими методами неинвазивного изучения мозговой активности в период, предшествующий восприятию целевого сигнала. В частности, анализ взаимосвязанной активности различных проекционных и ассоциативных зон коры головного мозга (внутрикорковых функциональных связей) в предстимульный период и сопоставление этой активности с поведенческими параметрами эффективности деятельности позволяет оценить внутреннюю операциональную структуру предстимульного процесса – его функциональную организацию. Термин «функциональная организация» используется в экспериментальной психологии и нейрокогнитивной науке для характеристики отдельных компонентов психической функции, их специфической роли и мозгового обеспечения, а также их взаимодействия между собой (см., например, Rizzolatti et al., 1988).

В настоящем исследовании для оценки избирательности предстимульной настройки на анализ значимой информации была разработана экспериментальная модель, предполагающая регистрацию электрической активности мозга и психометрических параметров деятельности в условиях переключения внимания между зрительными и слуховыми сенсорными задачами.

Еще один важный и малоизученный аспект исследований предвосхищающего внимания – анализ влияния характера деятельности, в процессе которой формируется подготовка к восприятию событий в будущем.

Существуют, по крайней мере, два варианта условий, при которых субъект может предвидеть появление значимых событий: если им предшествует предупреждающий сигнал – подсказка (произвольное направленное внимание) или, если определенные события закономерно повторяются во времени (имплицитное предвосхищение). Направленное и имплицитное предвосхищающее внимание актуализируются в различных ситуациях повседневной жизни и профессиональной деятельности человека и по-разному сказываются на процессах обработки информации. Для получения новых данных о влиянии условий и характера деятельности на эффективность решения когнитивных задач представляло интерес проведение сравнительного

экспериментального исследования функциональной организации избирательного направленного внимания, вызванного инструкцией, и имплицитного предвосхищения, формирующегося в ходе регулярного предъявления релевантных сенсорных задач.

Цель настоящего исследования состояла в сравнительном анализе функциональной организации двух видов предвосхищающего внимания – произвольного и имплицитного – при подготовке к решению зрительных и слуховых сенсорных задач.

Предмет исследования – функциональная организация модально-специфического предвосхищающего внимания в двух условиях подготовки к решению зрительных и слуховых сенсорных задач: при избирательной преднастройке, направляемой инструкцией-подсказкой, и при преднастройке, формирующейся в ходе имплицитного научения

Методы: в настоящей работе для изучения функциональной организации предвосхищающего внимания анализ скорости и точности решения сенсорных задач разной модальности сочетался с анализом суммарной биоэлектрической активности различных зон коры головного мозга и их функционального взаимодействия в период, предшествующий появлению целевых сенсорных сигналов.

Таким образом, **объектом настоящего исследования** являлись параметры деятельности, отражающие эффективность различения слуховых и зрительных сигналов, и параметры суммарной электрической активности мозга – электроэнцефалограммы (ЭЭГ), зарегистрированной в период, предшествующий появлению целевых сенсорных стимулов.

В исследовании проверялись две основные гипотезы:

- Организация внутрикорковых функциональных связей при произвольном направленном предвосхищающем внимании отличается от организации внутрикорковых функциональных связей при предвосхищающем внимании, которое формируется в процессе имплицитного научения;

- Внутрикорковые функциональные объединения, как при произвольном предвосхищающем внимании, так и при имплицитной преднастройке носит избирательный характер и зависит от модальности целевой информации.

Экспериментальная проверка основных гипотез предполагала решение следующих **задач:**

1. Создание оригинальной экспериментальной модели для сравнительного исследования произвольного и имплицитного типов предвосхищающего внимания;
2. Оценка успешности и скорости распознавания зрительных и слуховых сигналов в условиях направленного произвольного внимания, задаваемого предварительной инструкцией, и в условиях имплицитного предвосхищения периодически повторяющейся последовательности сенсорных задач;
3. Электрофизиологический анализ функционального взаимодействия различных зон коры головного мозга в период подготовки к решению сенсорных задач в условиях направленного произвольного внимания, задаваемого предварительной инструкцией, и в условиях имплицитного предвосхищения периодически повторяющейся последовательности сенсорных задач;
4. Непосредственное статистическое сопоставление параметров ЭЭГ, отражающих степень функционального взаимодействия корковых зон в трех экспериментальных условиях: (1) при направленном внимании, (2) при имплицитном предвосхищении и (3) в референтном условии, когда сенсорные задачи следуют в псевдослучайном порядке и без предупреждения.

Научная новизна состоит в проведении сравнительного экспериментального исследования двух типов предвосхищающего внимания – произвольного и имплицитного - в условиях идентичности сенсорных задач и физических параметров целевых стимулов. Варьирование условий преднастройки при постоянстве когнитивных операций позволило получить новые данные о влиянии структуры деятельности на эффективность предвосхищающего внимания и его мозговое обеспечение при подготовке к обработке значимой информации

Теоретическая значимость: исследование позволило получить новые данные о функциональной организации предвосхищающего внимания – важнейшей составляющей целенаправленной деятельности человека. Полученные данные о специфике подготовительного периода при произвольной настройке и имплицитном научении говорят в пользу относительной самостоятельности и активного характера внимания, а также его зависимости от параметров анализируемой информации и структуры деятельности

Практическое применение результатов исследования предстимульного внимания может быть разнообразным. Поскольку основными функциями внимания с точки зрения современной психологии и нейронауки являются контроль и организация поведения, можно говорить о его ключевой роли в реализации любой деятельности. Это определяет возможность применения результатов исследования функциональной организации предвосхищающего внимания в различных прикладных областях. В области образования такое исследование может способствовать оптимизации способов подачи учебного материала для его наиболее эффективного усвоения учащимися, а сравнение эффективности различных способов организации внимания может быть полезно для решения маркетинговых задач.

Достоверность результатов и обоснованность сделанных выводов обеспечена применением общенаучных методических принципов планирования и проведения исследований; формированием гипотез исследования; соблюдением норм и правил использования методик регистрации психофизиологических показателей; корректным использованием статистических методов анализа.

На защиту выносятся следующие положения:

- 1) Функциональная организация предвосхищающего внимания различается в двух условиях подготовки к анализу значимой информации: при наличии инструкции-подсказки и при длительном повторении определенного порядка чередования целевых сигналов.
- 2) Необходимым компонентом произвольного предвосхищающего внимания является управляющий контроль процессов обработки информации со стороны высших регуляторных центров мозга – префронтальных отделов коры.
- 3) Имплицитное предвосхищение, условием которого является сохраняющийся длительное время неизменный порядок следования целевых сигналов, не требует вовлечения дополнительных контролирующих механизмов, а обеспечивается более экономичными функциональными системами мозга с участием преимущественно премоторных отделов коры. Выявленные изменения мозговой активности при формировании имплицитной преднастройки оказывают выраженный положительный эффект на решение простых сенсорных задач.
- 4) Как в случае произвольной, так и в случае имплицитной преднастройки функциональная организация предвосхищающего внимания зависит от модальности целевой информации и включает избирательное вовлечение соответствующих проекционных зон коры головного мозга.

5) Возможность избирательной настройки мозга на анализ значимой информации и ее зависимость от условий деятельности при восприятии одной и той же информации подтверждают представления о внимании как свернутом действии контроля

Апробация результатов исследования:

Основные положения работы были представлены на ежегодной конференции Студенческого научного сообщества МГЛУ «Collegium Linguisticum - 2014» (г. Москва, 2014); Третьей конференции «Когнитивная наука в Москве: Новые исследования» (г. Москва, 2015); Пятьдесят пятой ежегодной международной конференции ассоциации психофизиологических исследований (Fifty-Fifth Annual Meeting of the Society for Psychophysiological Research) (г. Сиэтл, 2015); Седьмой международной конференции по когнитивной науке (г. Светлогорск, 2016); Четвертой конференции «Когнитивная наука в Москве: Новые исследования» (г. Москва, 2017).

Публикации:

По материалам диссертационной работы опубликовано 9 научных работ, в том числе 6 статей, 3 из которых в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России, и 3 тезисов докладов на международных и студенческих научных конференциях.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, выводов и списка литературы. Основной текст диссертации занимает 90 страниц, общий объем диссертации 122 страницы. Список литературы включает 159 источников, из них 33 работы отечественных исследователей, и 126 – иностранных источников. Основной текст сопровождается 17 рисунками и 2 таблицами.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **Введении** обосновывается актуальность исследования, определяется цель, предмет и объект исследования, формулируются задачи и гипотезы, указывается методологическая основа, описывается научная новизна, теоретическая и практическая значимость, формулируются положения, выносимые на защиту.

Глава 1 «Влияние организация предвосхищающего внимания на эффективность обработки значимой информации. Аналитический обзор данных психологических и нейрофизиологических исследований» состоит из трех разделов и посвящена анализу психологических и нейрофизиологических экспериментальных данных о структуре и механизмах направленного и имплицитного предвосхищающего внимания.

В первом разделе определяется понятие внимания, описываются различные подходы к его пониманию, через призму различных теоретических парадигм рассматривается соотношение понятий «внимание» и «антиципация». На основании анализа целого спектра теоретических и экспериментальных работ выделяются два основных условия формирования у человека предвосхищающего внимания. Одно из условий — произвольная преднастройка — предполагает осведомленность субъекта о появлении и свойствах значимого события (Posner, Fan, 2008; Brunia, Boxtel, 2004). Другим возможным вариантом подготовки субъекта к восприятию будущих событий и организации своей деятельности в соответствии с ними является предвосхищение появления значимых сигналов при регулярном повторении порядка их следования – имплицитное предвосхищение в ходе серийного научения (Nissen, Bullemer, 1987; Dale et al., 2012).

Во втором разделе описываются экспериментально-психологические подходы к исследованию предвосхищающего внимания. В рамках исследования предвосхищающего внимания наибольшую популярность получила экспериментальная модель, разработанная М. Познером и коллегами (Posner et al., 1980), в которой возможность антиципации значимых событий создается с помощью предшествующих им инструкций-подсказок (*central cue*). Использование различных вариантов этой модели показало, что предъявление инструкций-подсказок способствует увеличению скорости и точности решения сенсорных задач, требующих переключения внимания между целевыми свойствами стимулов одной модальности (Posner, Fan, 2008; Posner, Petersen, 1990; Posner, Fan, 2008; Hahn et al., 2011), между стимулами разных модальностей (Spence, Driver, 1997), а также между когнитивными задачами (Monsell, 2003).

Другая популярная модель для исследования предстимульного внимания была предложена Ч. Бруниа и коллегами (Damen, Brunia, 1987; Brunia, Damen, 1988; Brunia, Voxtel, 2004). В рамках данной модели возможность избирательной подготовки к анализу значимой информации создается с помощью блочного дизайна, предусматривающего повторение релевантных свойств стимулов (например, модальности) внутри блока и их изменение от блока к блоку.

Помимо осознаваемого ожидания будущих событий, формирующегося в описанных выше экспериментальных условиях, предвосхищение может неосознанно (имплицитно) формироваться при регулярном повторении релевантной информации (в ходе имплицитного научения). При исследовании имплицитного научения обычно используются 3 основные экспериментальные парадигмы, имеющие схожий экспериментальный дизайн: усвоение искусственной грамматики (*artificial grammar learning (AGL)*) (Reber, 1967, 1989, 1993), усвоение последовательностей (серийное научение) (*serial learning, sequence learning (SL)*) (Nissen, Bullemer, 1987; Reber, 1993; Lewicki et al., 1988) и контроль динамической системы (*dynamic system control (DSC)*) (Berry, Broadbent, 1984). Во всех представленных парадигмах, научение рассматривается как имплицитное, если выполнение заданий становится более эффективным, а испытуемые не могут воспроизвести закономерность, лежащую в основе предъявления стимулов. Эффект имплицитного научения был установлен для мономодальных последовательностей зрительных (Nissen, Bullemer, 1987; Kushner et al., 1991; Boutin et al., 2013), звуковых (Zhuang et al., 1998; Conway, Christiansen, 2005; Boutin et al., 2013), слухоречевых (Weiermann, Meier, 2012) и тактильных (Conway, Christiansen, 2005) сигналов. Возможность формирования имплицитного (неосознаваемого) предвосхищения в ходе серийного научения подтверждается исследованием (Cleeremans et al., 1998).

Имплицитного предвосхищения будущих событий рассматривается также в контексте концепции статистического научения (*statistical learning*) (Saffran et al., 1996; Conway, Christiansen, 2005; Turk-Browne et al., 2010). Термин «статистическое научение» использовался Дж. Сафраном и коллегами в 1996 году (Saffran et al., 1996) для обозначения способности детей усваивать слова искусственного языка на основании извлечения статистических связей между определенными элементами экспериментальной или естественной среды. Несмотря на разные объяснительные подходы к имплицитному и статистическому научению, оба термина определяют схожие когнитивные процессы, представляющие собой неосознанные, имплицитные формы научения, в основе которых лежит закономерность и регулярность явлений окружающей среды (Conway, Christiansen, 2005; Turk-Browne et al., 2010; Schapiro, Turk-Browne, 2015). Многие исследователи статистического научения сходятся во мнении о том, что неосознаваемое усвоение статистических связей между закономерными явлениями

может опосредовать сдвиги внимания и имплицитное предвосхищение будущих событий (Turk-Browne et al., 2010; Zhao et al., 2013; Altamura et al., 2014).

В третьем разделе представлен анализ исследований мозговой организации избирательного предвосхищающего внимания на разных уровнях: исследования нейронной активности у приматов (Knudsen, 2007; Buschman, Miller, 2007, 2009; Verhoef et al., 2011;), электроэнцефалографические (Jones et al., 2010; Banerjee et al., 2011; Simpson et al., 2011; Rohenkohl et al., 2014) и фМРТ исследования человека (Bressler et al., 2008; Kastner, Ungerleider, 2000; Serences, Yantis, 2006; Liu et al., 2016), а также исследования с использованием электрической и ритмической транскраниальной магнитной стимуляции мозга (Ruff et al., 2006, 2008; Capotosto et al., 2009, 2012; Moore, Armstrong, 2003).

В большинстве исследований внимания, направляемого инструкцией выявлена активация фронто-париетальной сети управляющего контроля, а также подчеркивается вовлечение фронтального глазодвигательного поля (при ожидании зрительных стимулов). Исследования мозга в процессе подготовки к анализу значимой информации свидетельствуют о том, что наряду с активацией фронто-париетальных сетей, общей для различных ситуаций предвосхищающего направленного внимания, наблюдается избирательное вовлечение сенсорно-специфических зон, релевантных параметрам целевых стимулов (Bastiaansen et al., 2001; Brunia & van Boxtel, 2004; Machinskaya, 1998; Mozolic et al., 2008; Verhoef et al., 2011)

Как показал анализ специальной литературы, о мозговой организации имплицитного предвосхищения известно значительно меньше. Исследования с использованием фМРТ демонстрируют роль подкорковых структур (Doyon et al., 1997; Rauch et al., 1997; Destrebecqz et al., 2005; Turk-Browne et al., 2010), различных премоторных (Rauch et al., 1997; Hikosaka et al., 2002; Fiebach & Schubotz, 2006; Folia & Petersson, 2014), а также соматосенсорных и теменных (Landau & D'Esposito, 2006) корковых зон в имплицитном научении. Имплицитное предвосхищение, возникающее в процессе многократного повторения одной и той же последовательности целевых сигналов, предположительно не требует участия систем управляющего контроля.

Анализ результатов экспериментально-психологических и нейрофизиологических исследований подтверждает правомерность гипотезы о различиях функциональной организации предвосхищающего внимания при произвольной преднастройке, направляемой инструкцией, и функциональной организации предвосхищающего внимания, которое формируется при имплицитном научении. Кроме того, результаты представленных выше исследований свидетельствуют в пользу возможности избирательной преднастройки, предполагающей вовлечения модально-специфических областей коры головного мозга.

В главе 2 «Методические аспекты исследования» описана разработка экспериментальной модели, применяемой в диссертационном исследовании, Представлены особенности предварительного эксперимента и двух этапов основного эксперимента.

Проведение эмпирической части сравнительного исследования двух типов предвосхищающего внимания предполагало разработку оригинальной экспериментальной модели, удовлетворяющей следующим условиям: сенсорные задачи должны были быть одинаковыми при различных типах преднастройки; и в том и в другом случае они должны были различаться модальностью целевых сигналов, но быть сходными по типу когнитивных операций, характеру ответов и трудности.

В качестве единой для разных условий преднастройки сенсорной задачи была выбрана задача определения порядка следования двух сенсорных сигналов в

мономодальной паре. Эта задача предъявлялась в двух вариантах: с использованием зрительных или слуховых стимулов.

Зрительные стимулы представляли собой вытянутые прямоугольные полосы двух легко различимых оттенков серого (светлого и темного), являющиеся диагоналями квадрата с угловыми размерами 2.5×2.5 градуса (рис. 1 А). Две полосы разного наклона и цвета одна за другой предъявлялись в центре черного экрана на 17 мс каждая и были разделены интервалом 40 мс.

В качестве слуховых стимулов использовались короткие (25 мс) предъявляемые бинаурально тональные звуки двух разных частот (300 и 3000 Гц) и комфортной громкости (~70 дБ). Два звука разной высоты также предъявлялись испытуемому один за другим с интервалом 40 мс. Единый межстимульный интервал для слуховых и зрительных стимулов, при котором обе сенсорные задачи решались с вероятностью 60-80 %, был определен в ходе предварительного эксперимента с участием 10 испытуемых.

Проведение основного эксперимента было организовано в два этапа. На первом этапе каждый испытуемый участвовал в двух сессиях эксперимента, в которых были созданы условия произвольного внимания, направляемого инструкцией и имплицитного предвосхищения. На втором этапе эксперимент состоял из трех сессий и включал помимо двух основных условий, третье референтное условие, при котором испытуемый должен был решать те же сенсорные задачи, следующие в псевдослучайном порядке без предупреждения о модальности.

В рамках первого этапа основного эксперимента в исследовании приняли участие 20 здоровых испытуемых-правшей (10 мужчин и 10 женщин) в возрасте 23 ± 5.7 лет, на втором этапе исследования — 24 здоровых испытуемых-правшей (9 мужчин и 15 женщин) в возрасте 22 ± 4.75 . Все испытуемые не имели неврологических, в том числе сенсорных, нарушений ни в анамнезе, ни в период проведения исследования. Все испытуемые дали информированное письменное согласие на участие в исследовании. В общей сложности, в предварительном исследовании и двух этапах основного эксперимента приняли участие 54 человека.

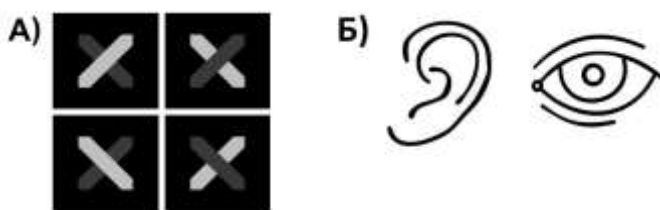


Рис. 1. Стимульный материал. (А) – все возможные варианты следования пар зрительных стимулов (в наложении: первым появляется стимул, изображенный на заднем плане). (Б) – стимул-подсказка «ухо» и «глаз», указывающие на слуховую и зрительную модальность целевой пары стимулов, соответственно.

Испытуемый должен был определить, какой из двух зрительных (слуховых) целевых стимулов был предъявлен первым, и в течение двух секунд успеть нажать одну из трех кнопок ответного устройства, обозначающих три варианта ответа: 1 – первый стимул – светло-серая полоска (высокий тон); 2 – первый стимул – темно-серая полоска (низкий тон); 3 – не могу дать ответ. Два условия предвосхищающего внимания были реализованы в двух экспериментальных сессиях: *направленное внимание* и *серийное научение*. На втором этапе основного эксперимента к двум экспериментальным сессиям, соответствующим формированию разных типов предвосхищающего внимания, была добавлена *референтная сессия*, которая не предполагала формирования какого-либо

предвосхищения. Порядок следования сессий чередовался от испытуемого к испытуемому.

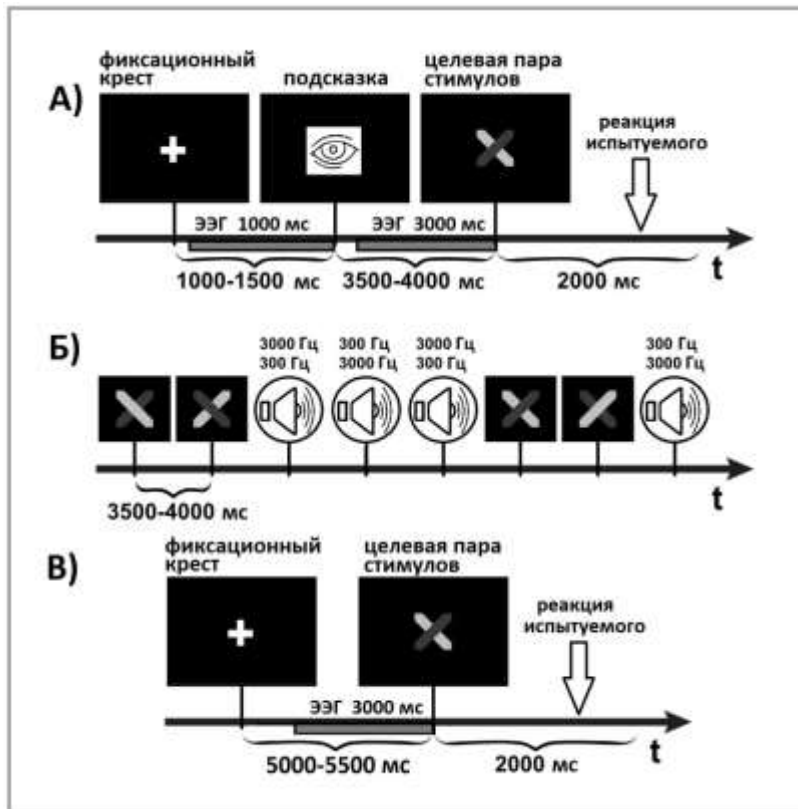


Рис. 2. Процедура экспериментального исследования: А) – последовательность событий в одной пробе сессии направленное внимание; Б) – последовательность сенсорных задач в одном повторяющемся блоке в сессии серийное научение; В) – последовательность событий в одной пробе сессии референтное условие.

В сессии *направленное внимание* появлению целевых стимулов предшествовали стимулы-подсказки, информирующие о модальности сенсорной задачи: схематические изображения глаза или уха (рис. 1 Б). Угловые размеры стимулов-подсказок совпадали с угловыми размерами зрительных целевых стимулов, а их длительность составляла 80 мс.

Каждая экспериментальная проба начиналась с предъявления фиксационного креста, который оставался в центре экрана в течение всей сессии за исключением моментов предъявления предупреждающих и целевых зрительных сигналов. Последовательность событий в одной экспериментальной пробе представлена на рис. 2 А). Временные интервалы между пробами варьировали случайным образом в указанном на рис. 2 А) диапазоне. Зрительные и слуховые задачи чередовались в ходе сессии в псевдослучайном порядке. Количество зрительных и слуховых стимульных пар было одинаковым (40 предъявлений), таким образом, сессия включала 80 проб. Сенсорные задачи с такими же характеристиками использовались в сессии *серийное научение*. Особенность этой сессии заключалась в отсутствии стимулов-подсказок и периодическом повторении наборов экспериментальных проб с фиксированным порядком следования слуховых и зрительных задач (8 проб). Сессия *серийное научение* включала 30 повторений набора из 8 проб (блок) и была разделена на три стадии по 10 повторений в каждой для дальнейшего анализа. Аналогично сессии *направленное внимание*, в сессии *референтное условие* зрительные и слуховые стимульные пары чередовались в ходе сессии в псевдослучайном порядке с переменными интервалами между пробами, а количество зрительных и слуховых задач было одинаковым (40 предъявлений). При этом, в отличие от сессии *направленное внимание*, сенсорные задачи

предъявлялись без предваряющих их стимулов-подсказок. Последовательность событий в сессии *референтное условие* представлено на рис. 2 В).

Для исследования функциональной организации предвосхищающего внимания использовался анализ функционального взаимодействия корковых зон по показателю когерентности (КОГ) ритмических составляющих ЭЭГ в пространстве источников. ЭЭГ регистрировалась с помощью компьютерной системы EGI (Electrical Geodesics, Inc.) от 128 датчиков с вертексным референтным электродом. Частота оцифровки составляла 250 Гц, частота пропускания сигнала – 0.5-70 Гц. Функциональные корково-корковые связи анализировались по отрезкам ЭЭГ, записанным в течение 3 секунд перед целевой стимульной парой во всех экспериментальных сессиях для проб, соответствующих правильным решениям сенсорной задачи. Для оценки функциональных связей при имплицитном предвосхищающем внимании использовались последние 10 из повторяющихся последовательностей сенсорных задач, для которых при анализе психометрических показателей был выявлен эффект имплицитного научения. С помощью метода минимальной нормы (MNE) вычислялись сигналы в единице объема корковой ткани (вокселе). Из всего множества сигналов в отдельных вокселях отбирались те, которые соответствовали гомологичным областям интереса (ОИ) в правом и левом полушариях. ОИ были выбраны на основании данных исследований мозговой организации произвольного внимания и имплицитного научения: V1 – зрительная проекционная область (BA 17); A1 – слуховая проекционная область (BA 41/42); FEF – фронтальное глазодвигательное поле (BA 8); LPFC – латеральная префронтальная кора (BA 9/46); IPC – нижняя теменная кора (BA 40); preSMA – роstralная часть дополнительной моторной области (BA 6a); VPC – вентральная премоторная кора (BA 6). Для локализации ОИ использовались MNI-координаты. Все воксели, расположенные внутри шара с радиусом 10 мм с центром, соответствующим центру ОИ, рассматривались как принадлежащие этой ОИ. Для последующей оценки функциональных связей каждая ОИ была представлена одним характеристическим сигналом (источником). Для пар источников, соответствующих ОИ, вычислялись оценки функции когерентности (КОГ) в диапазоне альфа-ритма (7.5 -12.5 Гц) в трех экспериментальных условиях, описанных выше. Для оценки специфичности функционального взаимодействия по основному ритму было проведено также исследование КОГ для других диапазонов ЭЭГ: тета (4 -7 Гц), бета 1 (14 -18 Гц), бета 2 (20-27 Гц), гамма 1 (30-39 Гц), гамма 2 (40-49 Гц). Статистическая обработка оценок функции КОГ проводилась в 5 подмножествах пар отведений (см. рис. 3) с помощью общей схемы линейного анализа (GLM), эквивалентной дисперсионному анализу по схеме с повторными измерениями. При выборе критерия значимости различий для отдельных пар областей учитывалось общее количество исследованных пар (42 пары), таким образом $p < 0.0012$ соответствовал общепринятому критерию значимости при сравнении двух переменных $p < 0.05$.

В главе 3 “Влияние предвосхищающего внимания при произвольной преднастройке и имплицитном научении на эффективность решения слуховых и зрительных сенсорных задач» и главе 4 «Мозговое обеспечение произвольного и имплицитного предвосхищающего внимания. Ээг анализ корково-коркового взаимодействия в пространстве источников» представлены результаты, полученные в исследовании, и их обсуждение.

Анализ психометрических данных, полученных в ходе первого этапа исследования, продемонстрировал увеличение эффективности выполнения сенсорных задач испытуемыми (снижение ВР и увеличение процента правильных ответов) на третьей стадии сессии *серийное научение*. При анализе результатов решения сенсорных задач в сессии *серийное научение* были выявлены особенности динамики

психометрических показателей, связанные с модальностью целевых сигналов: снижение ВР наблюдалось только для слуховой модальности (1 стадия vs 3 стадия: $t(19) = 3.684$, $p = 0.005$), в то время как значимое увеличение точности ответов наблюдалось для обеих модальностей (1 стадия vs 3 стадия — зрительная модальность: $t(19) = 3.490$, $p = 0.007$; слуховая модальность: $t(19) = 3.387$, $p = 0.009$). Сопоставление параметром успешности деятельности при направленном внимании и референтном условии не выявило значимого влияния подсказки на точность и скорость выполнения сенсорных задач. Возможно, это обусловлено особенностями экспериментальной модели, которая предусматривала постоянное переключение ресурсов внимания не в рамках одной модальности, а между разными модальностями. Такое переключение, вероятно, сопровождается вовлечением более сложных механизмов избирательной настройки мозга, что не позволяет выигрывать в скорости решения. Отсутствие положительных изменений в точности можно объяснить ограничением времени (2 с), в течение которого испытуемый мог дать ответ. Отсутствие значимого положительного влияния произвольного предвосхищающего внимания может указывать на преимущество имплицитной преднастройки в условиях, когда время принятия решения ограничено. Однако, как показал анализ динамики психометрических параметров в сессии *серийное научение*, для достижения положительного эффекта в этом случае необходимо многократное повторение однотипных задач с определенными свойствами.

Сопоставление ЭЭГ показателей функционального взаимодействия корковых зон в предстимульный период в трех экспериментальных условиях позволило выявить существенные различия в функциональной организации направленного и имплицитного предвосхищающего модально-специфического внимания. Зависимость КОГ от условий предстимульного внимания и модальности сенсорной задачи для 5 подмножеств областей представлена на рис.3.

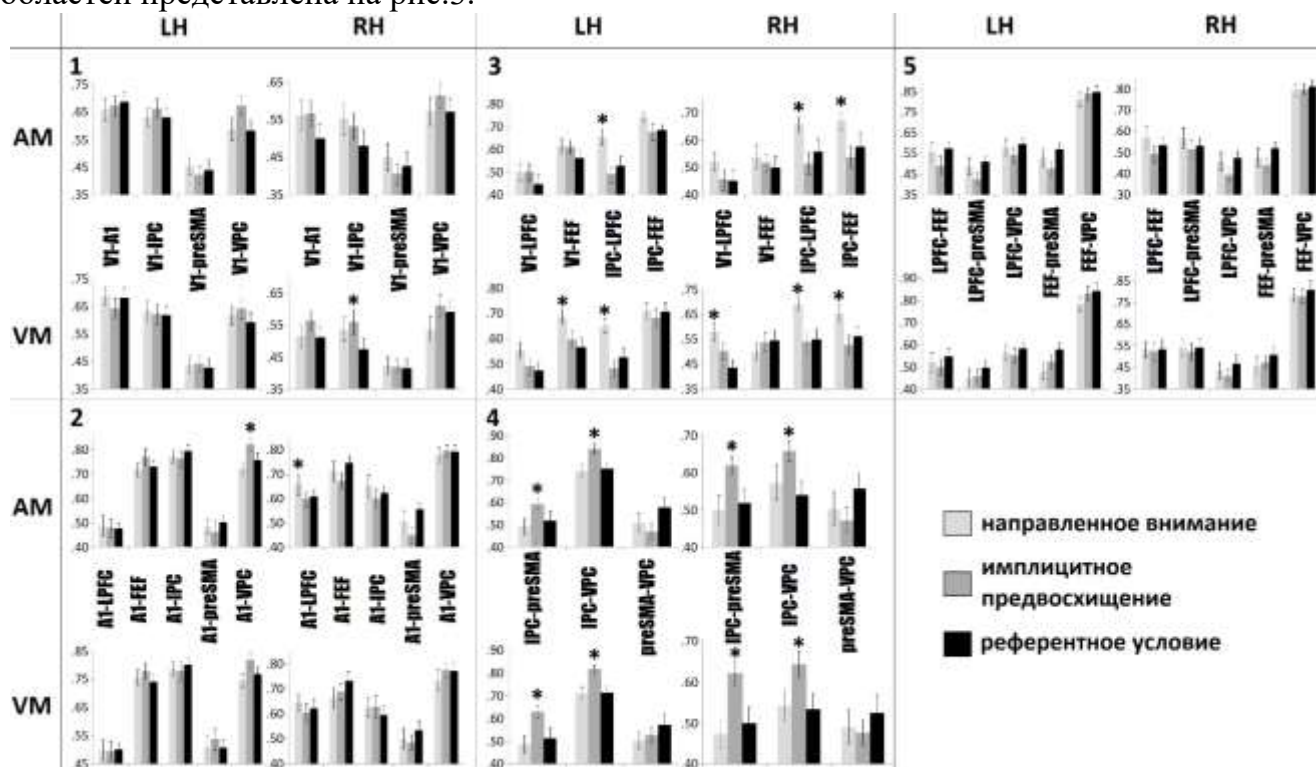


Рис. 3 Усредненные по группе испытуемых значения альфа КОГ. Цифры 1-5 обозначают номера подмножеств пар областей коры. AM – слуховая модальность, VM - зрительная модальность, LH – левое полушарие, RH – правое полушарие. Планки погрешности соответствуют величине ошибки среднего. Значимые ($p < 0.0012$) различия отмечены звездочками.

Вызванное инструкцией-подсказкой предвосхищение целевого сигнала сопровождалось усилением функционального взаимодействия между префронтальными и теменными зонами коры как при ожидании зрительной, так и при ожидании слуховой задачи. На рисунке 4 в схематическом виде представлена топография статистически значимого роста КОГ ритмических составляющих альфа-диапазона ЭЭГ при направленном внимании по сравнению с референтным условием (А) и по сравнению с имплицитной преднастройкой (Б). В правом полушарии при ожидании сенсорных задач обеих модальностей обе исследованные префронтальные зоны – фронтальное глазодвигательное поле (FEF) и латеральная префронтальная кора (LPFC) - демонстрировали усиление функционального взаимодействия с теменной корой (IPC) как по сравнению с референтным условием, так и по сравнению с имплицитным предвосхищением. В левом полушарии сходные изменения выявлены для связей между латеральной префронтальной и теменной корой при ожидании задач обеих модальностей, как по сравнению с референтным условием, так и по сравнению с имплицитной преднастройкой.

Обнаруженные в настоящем исследовании изменения корково-коркового взаимодействия согласуются с данными литературы о роли префронтальных (LPFC и FEF) и париетальных (IPS) корковых зон в предстимульной настройке мозга на анализ ожидаемых сигналов. Так, в работе С. Бресслера и коллег (Bressler et al., 2008) на основании анализа гемодинамической реакции было показано, что предстимульное зрительно-пространственное внимание, направляемое звуковым стимулом-подсказкой, сопровождается усилением нисходящих влияний от фронтального глазодвигательного поля (FEF) на внутреннюю теменную борозду (IPS), а также от FEF и IPS на зрительные специфические области. В работе Г. Симпсона и коллег (Simpson, 2011) при анализе связанных с событием изменений магнитоэнцефалограммы (event-related field), возникающих в ответ на предупреждающий стимул (стрелку, указывающую место появления целевого стимула), была обнаружена последовательная активация зрительной (V1, V2), теменной (cuneus, IPC) и лобной (FEF, MFG) коры, отражающая обработку информации о предупреждающем сигнале. Изменения корковой активности, связанные с параметрами целевого сигнала (положением зрительного стимула на экране) были зарегистрированы в период от 250 до 350 мс и включали последовательную активацию FEF и латеральной париетальной зоны (LPF). Вслед за этим (400–500 мс) была зарегистрирована согласованная активность фронто-париетальной системы: верхней лобной извилины (SFG), средней лобной извилины (MFG), латеральной (LIP) и передней (IPSa) частей внутренней теменной борозды. И, наконец, через 800 мс после предупреждающего стимула изменения МЭГ преобладали в теменных (IPS, LIP), затылочных и нижневисочных зонах, принимающих участие в обработке информации о целевом изображении и его положении на экране. В исследованиях на нейронах приматов (Knudsen, 2007, обзор) показано, что нисходящий контроль фронто-париетальной системы внимания избирательно увеличивает сенсорную чувствительность нейронов зрительных областей V4 и MT, рецептивные поля которых совпадают с характеристиками целевых зрительных стимулов.

Следует отметить, что обнаруженное в настоящем исследовании усиление фронто-париетальных связей при направленном внимании касается преимущественно правого полушария. Роль фронтальных и теменных зон правого полушария в обеспечении нисходящих управляющих влияний при различных формах когнитивного контроля была показана в работе (Fassbender et al., 2006). В этом исследовании с помощью метода фМРТ была выявлена активация префронтальных и теменных зон правого полушария в ходе выполнения испытуемыми задания, предусматривающего контроль порядка следования

целевых зрительных стимулов (букв) и произвольное торможение ответной двигательной реакции при его изменении (парадигма NOGO). Согласно концепции М. Познера и коллег фронтальные и теменные зоны правого полушария входят в нейронную сеть управляющего компонента внимания (executive control network) (Posner, Fan, 2008). В работе (Zanto et al., 2011) на основе сочетания методов фМРТ, транскраниальной магнитной стимуляции и ЭЭГ было показано, что активация дорзолатеральной префронтальной коры правого полушария при направленном внимании способствует усилению нисходящих модулирующих влияний со стороны высших регуляторных центров и последующему удержанию значимой информации в рабочей памяти. С точки зрения интерпретации результатов настоящего исследования значительный интерес представляют полученные в работе П. Занто и коллег данные о том, что активация коры правого полушария в области нижнелобного соединения (inferior frontal junction) с помощью транскраниальной магнитной стимуляции сопровождается усилением функционального взаимодействия префронтальной и теменной коры по альфа-ритму (7-14 Гц).

Предпринятый в нашем исследовании анализ локальных корково-корковых связей показал, что наряду с общим для зрительной и слуховой задач ростом функционального взаимодействия между “участниками” фронто-париетальной сети внимания происходят избирательные изменения, зависящие от модальности ожидаемых целевых сигналов. Так, при ожидании слуховой задачи наблюдается усиление функционального взаимодействия по сравнению с референтным условием между латеральной префронтальной корой правого полушария и слуховой проекционной зоной, а также между латеральной префронтальной корой правого полушария и слуховой проекционной зоной по сравнению с имплицитной преднастройкой. При ожидании зрительной задачи усиливается взаимодействие между той же префронтальной зоной правого полушария и зрительной проекционной областью по сравнению с референтным условием, а также между зрительной корой и фронтальной глазодвигательной зоной левого полушария при сравнении с референтным условием (рис.4).

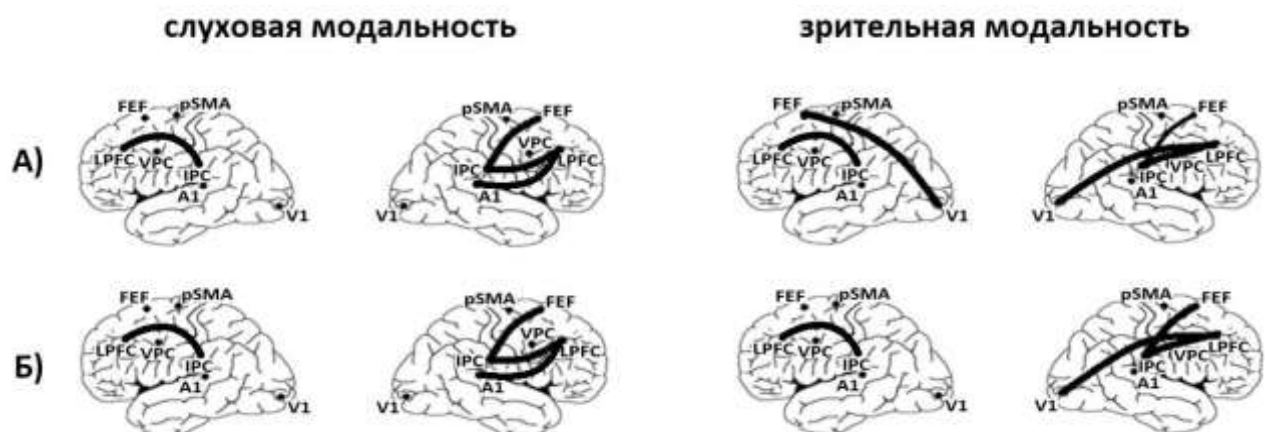


Рис. 4. Функциональная организация направленного внимания для зрительной и слуховой модальностей. Линиями соединены зоны коры, для которых выявлен значимый рост КОГ в предстимульный период (А) – при направленном внимание по сравнению с референтным условием, (Б) – при направленном внимание по сравнению с имплицитным научением

Вероятно, избирательный модально-специфический рост степени корково-коркового взаимодействия по альфа-ритму во время ожидания целевого стимула подготавливает нейронные сети к будущей обработке сенсорных сигналов. Рамки

настоящего исследования не позволяют судить о последовательности изменений функциональных связей в модулирующих (фронтально-париетальных) и сенсорно-специфических системах. Вместе с тем, учитывая данные литературы, представленные выше (Bressler, 2008; Simpson, 2011), можно предположить, что при направленном предстимульном внимании опережающие нисходящие влияния от фронтально-париетальной системы способствуют настройке сенсорно-специфических корковых зон на анализ будущих событий.

Принципиально другая картина изменений функционального корково-коркового взаимодействия по альфа-ритму выявлена в предстимульный период при имплицитном предвосхищении (рис. 5). Прежде всего, следует отметить отсутствие значимых изменений альфа КОГ в зонах коры, относящихся к фронтально-париетальной системе. Наряду с отсутствием изменений во фронтально-париетальной сети, имплицитное предвосхищение зрительных и слуховых стимулов характеризуется ростом степени взаимодействия внутриременной области (IPC) с вентральной премоторной областью и ростральной частью дополнительной моторной области как по сравнению с референтным условием, так и по сравнению с произвольной преднастройкой. С точки зрения соответствия полученных результатов гипотезе об избирательности имплицитного предвосхищающего внимания важно подчеркнуть, что помимо описанного выше усиления связей по альфа-ритму между медиальными и вентральными премоторными зонами и теменной корой были выявлены модально-специфические изменения корково-коркового взаимодействия: рост связей по альфа-ритму между теменной и проекционной зрительной корой правого полушария при преднастройке к решению зрительной задачи и рост связей по альфа-ритму между вентральной премоторной и проекционной слуховой корой левого полушария при преднастройке к решению слуховой задачи.

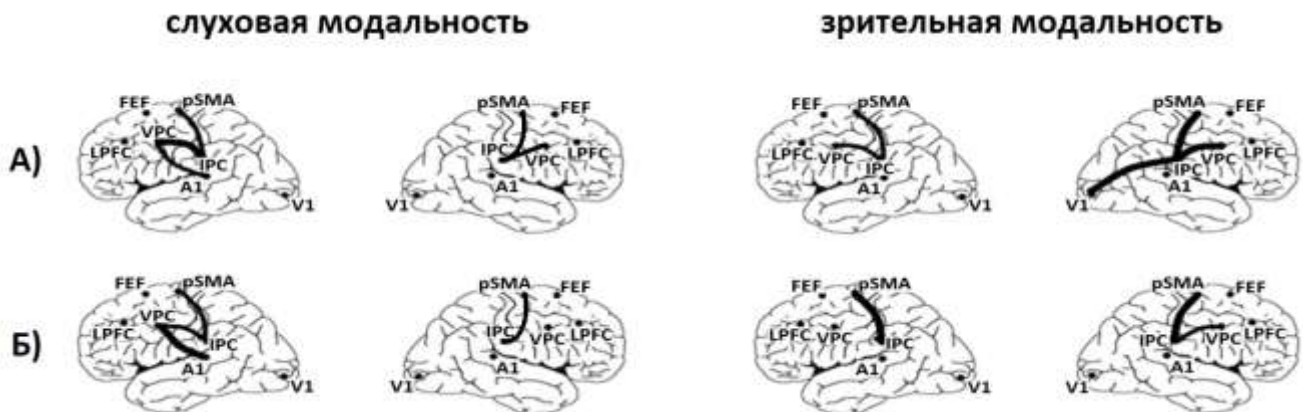


Рис. 5. Функциональная организация имплицитного предвосхищения для зрительной и слуховой модальностей. Линиями соединены зоны коры, для которых выявлен значимый рост КОГ в предстимульный период (А) – при имплицитном обучении по сравнению с референтным условием, (Б) – при имплицитном обучении по сравнению с направленным вниманием

С учетом литературных данных о роли вентральной премоторной коры (VPC) в мультимодальной интеграции (Rizzolatti et al., 2002) и удержании информации о иерархической организации сенсорных событий во времени (Fiebach et al., 2006; Folia, Petersson, 2014), можно предположить, что в процессе серийного научения формируются внутренние репрезентации повторяющихся последовательностей слуховых и зрительных задач, что способствует преднастройке нейронных сетей к анализу релевантных сигналов без участия управляющих влияний со стороны дорзолатеральных префронтальных зон.

Данные о специфике функциональной организации предвосхищающего имплицитного внимания, полученные на основе анализа ЭЭГ, свидетельствуют о том, что результатом имплицитного усвоения последовательности сенсорных событий является автономизация и «сворачивание» функциональных систем мозга, обеспечивающих решение сенсорной задачи, подобно тому как это происходит согласно модели П. Фиттса и М. Познера (Fitts, Posner. 1967) при формировании моторных навыков. В этом случае также как при формировании моторного навыка на заключительной стадии научения внимание становится автоматизированным, а роль произвольного контроля существенно падает. Этим можно объяснить тот факт, что при имплицитной преднастройке в отличие от направленного предвосхищающего внимания отсутствуют существенные изменения во фронто-париетальной модулирующей системе. В этом случае механизмы преднастройки оказываются более экономичными, менее подверженными влиянию конкурирующей деятельности и других внешних обстоятельств. Внутренняя репрезентация последовательности событий, которая формируется в процессе серийного научения, по-видимому, включает не только сенсорные, но и моторные компоненты, о чем свидетельствует усиление связей ростральной части премоторной коры с нижнетеменной корой. Вовлечение ростральной части дополнительной моторной области может быть обусловлено формированием нейронной сети, обеспечивающей сенсомоторную интеграцию, поскольку, согласно литературным данным (Nachev et al., 2007), активность этой зоны коры ассоциируется с обеспечением двигательного компонента реакции выбора.

Стоит отметить, что полученные результаты отражают эффекты связанные именно с процессами предвосхищающего внимания. Это подтверждается исследованием динамики корково-корковых функциональных связей в период подготовки к решению сенсорных задач внутри каждой экспериментальной сессии (первый этап данного исследования). Результаты сравнения предстимульного периода с референтными условиями в каждой сессии (период мобилизационной готовности, предшествующий стимулу-подсказке, в сессии *направленное внимание* и первая стадия сессии *серийное научение*) выявили качественные различия функциональной организации предвосхищающего внимания в двух экспериментальных сессиях. При направленном предвосхищающем внимании к зрительным и слуховым стимулам по сравнению с мобилизационной готовностью наблюдались как независимые от модальности, так и модально-специфические изменения корково-корковых функциональных связей. Правильному решению обеих сенсорных задач предшествовало усиление функционального взаимодействия между удаленными префронтальными и теменными зонами. Отмечено также усиление локальных связей между сенсорно-специфическими и ассоциативными (париетальными и префронтальными) областями. Сравнительный анализ альфа КОГ предстимульной ЭЭГ на третьей и первой стадии сессии *серийное научение* позволил обнаружить усиление функциональных связей между вентральной премоторной областью и каудальными (теменными и затылочной) областями правого полушария при формировании имплицитной преднастройки к зрительным стимулам. При имплицитной преднастройке к слуховым стимулам функциональное взаимодействие по альфа-ритму возрастало в отделах коры, включающих ростральную дополнительную моторную область, вентральную премоторную область и слуховую сенсорную зону. На этапе сравнения трех экспериментальных условий (*направленное внимание*, *имплицитное предвосхищение*, *референтное условие*) был проведен дополнительный анализ КОГ в других частотных диапазонах ЭЭГ (тета, бета 1, бета 2, гамма 1 и гамма 2). Этот анализ продемонстрировал, что формирование корково-корковых связей при обоих исследованных типах предстимульного внимания является частотно-специфичным: при

направленном внимании и имплицитной преднастройке происходят избирательные изменения функционального взаимодействия корковых зон по альфа-ритму при отсутствии существенных изменений в других частотных диапазонах. Это наблюдение согласуется с известными литературными данными о роли альфа-осцилляций в подготовке нейронных сетей коры к обработке значимой сенсорной информации при различных видах когнитивной деятельности, таких как предстимульное внимание (Мачинская и др. 1992; Brunia, Voxtel, 2004; Doesburg et al., 2009), преодоление когнитивной установки (Костандов и др., 2013), рабочая память (Freunberger et al., 2009; Мачинская, Курганский, 2012), а также интермодальное предвосхищающее внимание на основе выделения отдельных признаков (feature-based) целевых сигналов (Rohenkohl, Nobre, 2011).

Заключение

Анализ психометрических параметров деятельности при решении сенсорных слуховых и зрительных задач показал, что произвольное направленное внимание и имплицитное предвосхищение по-разному влияют на скорость и точность принятия решения. Более выраженный положительный эффект в условиях ограничения времени ответа достигается при формировании имплицитного предвосхищения в ходе серийного научения. При этом рост эффективности деятельности имеет модально-специфический характер: увеличение точности ответов наблюдается для задач обеих модальностей, в то время как снижение времени реакции — только для слуховой модальности. Психометрические данные о специфике влияния произвольного и имплицитного предвосхищающего внимания на эффективность решения сенсорных задач хотя и говорят в пользу самого факта различия их функциональной организации, однако, оставляют открытым вопрос о том, в чем именно эти различия состоят и чем объясняется выраженный положительный эффект имплицитного предвосхищения.

Получить ответы на эти вопросы удалось благодаря анализу электрической активности мозга в период, предшествующий появлению целевых сенсорных сигналов. Основные различия функциональной организации исследованных в данной работе типов предвосхищающего внимания касались вовлечения процессов нисходящего управляющего контроля, которые на мозговом уровне обеспечиваются активацией фронто-париетальной модулирующей системы: функциональное взаимодействие префронтальных и теменных корковых зон усиливалось при произвольном предвосхищающем внимании, направляемом инструкцией-подсказкой, как при ожидании зрительных, так и при ожидании слуховых задач, и не изменялось существенно при имплицитном предвосхищающем внимании. Участие фронто-париетальной модулирующей системы при предвосхищающем произвольном внимании вероятно обусловлено необходимостью вовлечения дополнительных механизмов управляющего контроля при быстрой и нерегулярной смене сенсорных задач, которая требует перераспределения ресурсов внимания в направлении новой цели. Эта особенность функциональной организации направленного внимания могла привести к удлинению процесса обработки значимой информации, что в условиях ограничения времени ответной реакции не позволило учесть все правильные ответы и выявить возможное положительное влияние произвольной преднастройки на точность решения сенсорной задачи.

Имплицитное предвосхищающее внимание, оказавшее выраженный положительный эффект на решение сенсорных задач, по своей функциональной организации существенно отличалось от произвольного предвосхищающего внимания.

Характерной особенностью функционального корково-коркового взаимодействия при подготовке к решению сенсорных задач на стадии сформированного имплицитного научения было усиление связей между теменной областью и вентральной премоторной корой, а также между теменной областью и ростральной частью дополнительной моторной зоны. С учетом литературных данных такая топография изменений суммарной электрической активности мозга свидетельствует о формировании в процессе серийного научения внутренней репрезентации повторяющихся последовательностей слуховых и зрительных задач, что способствует преднастройке нейронных сетей к анализу релевантных сигналов без участия управляющих влияний со стороны фронто-париетальной модулирующей системы. В этом случае механизмы преднастройки оказались более экономичными, менее подверженными влиянию конкурирующей деятельности и других внешних обстоятельств, что и привело к сокращению времени и увеличению точности анализа значимой информации. Вместе с тем, необходимо отметить, что положительный эффект имплицитной преднастройки достигался только при многократном повторении одной и той же последовательности целевых задач, что делало деятельность в этом случае не только более монотонной и однообразной, но и менее пластичной. Можно предположить, что имплицитная преднастройка, выигрывая в скорости и точности, в большей степени подвержена риску сбоев внимания при неожиданном изменении условий деятельности. Таким образом, сопоставление результатов психометрического и электрофизиологического анализа позволило подтвердить гипотезу о различиях в функциональной организации произвольного и имплицитного предвосхищающего внимания

ЭЭГ-анализ функционального взаимодействия корковых зон в период, предшествующий решению когнитивных задач, позволил сделать еще один важный вывод о функциональной организации предвосхищающего внимания. Оба исследованных типа предстимульного внимания сопровождались изменениями активности мозга, которые определялись модальностью ожидаемого сигнала: при направленном внимании это было усиление функциональных связей префронтальных зон с релевантными сенсорной задаче проекционными зонами, при имплицитном усилении связей зрительной и теменной коры перед предъявлением зрительной задачи и связей слуховой и вентральной премоторной коры перед предъявлением слуховой задачи. Таким образом, вторая гипотеза исследования – предположение об избирательности предвосхищающего внимания - также получила подтверждение.

Выводы

1. При многократном повторении зрительных и слуховых сенсорных задач с фиксированной последовательностью экспериментальных проб формируется имплицитное предвосхищение модальности целевого сигнала.
2. Произвольное и имплицитное предвосхищающее внимание оказывают разное влияние на скорость и точность решения сенсорных задач: значимый положительный эффект в условиях ограничения времени ответа достигается только при формировании имплицитного предвосхищения в ходе серийного научения. Положительное влияние имплицитного предвосхищения имеет модально-специфический характер: увеличение точности ответов наблюдается для задач обеих модальностей, в то время как снижение времени реакции - только для слуховой модальности.

3. Согласно результатам ЭЭГ анализа предвосхищающее внимание, направляемое подсказкой, сопровождается усилением функционального взаимодействия в связях между теменными и префронтальными зонами коры. Усиление функциональных связей при направленном внимании выявлено как по отношению к референтному условию, так и по отношению к имплицитному предвосхищению, и больше выражено в правом полушарии.
4. Имплицитное предвосхищение сопровождается усилением функционального взаимодействия вентральных и медиальных премоторных корковых зон с теменными областями. В отличие от направленного внимания оно не сопровождается изменениями фронто-париетальных функциональных связей.
5. Как направленное внимание, так и имплицитное предвосхищение характеризуются формированием модально-специфических корково-корковых функциональных связей с вовлечением проекционных зон коры в соответствии с сенсорной модальностью ожидаемого стимула.
6. Полученные результаты подтверждают основные гипотезы исследования. Процессы настройки мозга на анализ значимой сенсорной информации избирательны — они зависят от целевых параметров задачи. При этом направленное и имплицитное предвосхищающее внимание существенно различаются по своей функциональной организации.
7. Изменения когерентности ритмической электрической активности мозга, отражающие усиление функциональных связей между различными корковыми зонами в период ожидания значимой сенсорной информации, являются частотно-специфичными и касаются преимущественно колебаний в диапазоне альфа-ритма ЭЭГ.

Содержание диссертации отражено в – 9 научных публикациях общим объемом 3 п.л. (авторский вклад – 2.5 п.л.).

Публикации в международных изданиях, цитируемых в базах Scopus и Web of Science и отечественных рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Министерстве образования и науки РФ:

1. Talalay I.V., Kurgansky AV., Machinskaya R. I. Alpha-band functional connectivity during cued versus implicit modality-specific anticipatory attention: EEG-source coherence analysis // *Psychophysiology*. — 2018. — Vol. 55, no. 12. — P. e13269.
2. Мачинская Р. И., Талалай И. В., Курганский А. В. Функциональная организация коры головного мозга при направленном и имплицитном модально-специфическом предвосхищающем внимании. Анализ когерентности альфа-ритма в пространстве источников // *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова*. — 2015. — Т. 65, № 6. — С. 661–675. *Статья переведена в: Machinskaya R. I., Talalai I. V., Kurganskii A. V. Functional organization of the cerebral cortex in cued and implicit modality-specific anticipatory attention. Analysis of α -rhythm coherence in the sources space // *Neuroscience and Behavioral Physiology*. — 2016. — P. 1– 11.*
3. Талалай И. В. Методические аспекты изучения предвосхищающего внимания // *Вестник Московского государственного лингвистического университета. Образование и педагогические науки*. — 2016. — Т. 17, № 756. — С. 65–77.

Научные статьи в журналах и сборниках, тезисы докладов:

4. *Talalay I., Machinskaya R.* The comparative study of cued and implicit anticipatory attention during the performance of visual and auditory versions of the temporal order judgment task // *The Russian Journal of Cognitive Science.* — 2014. — Vol. 1, no. 4. — P. 58–65.
5. *Талалай И.В., Курганский А.В., Мачинская Р.И.* Функциональная организация направленного модально-специфического предвосхищающего внимания: анализ когерентности альфа-ритма в пространстве источников. // В сборнике: *Когнитивная наука в Москве: новые исследования. Материалы конференции.* — 2015. — С. 422-427.
6. *Талалай И.В., Курганский А.В., Мачинская Р.И.* Мозговая организация предвосхищающего модально-специфического внимания при произвольной преднастройке и имплицитном научении: анализ когерентности альфа-ритма в пространстве источников. // В сборнике: *Когнитивная наука в Москве: новые исследования материалы конференции.* — 2017. — С. 336-341.
7. *Talalay I.V., Kurgansky A.V., Machinskaya R.I.* Cortical functional connectivity during implicit modality-specific anticipatory attention: eeg-source alpha coherence analysis. // В книге: *Седьмая международная конференция по когнитивной науке. Тезисы докладов. Ответственные редакторы: Ю. И. Александров, К. В. Анохин.* — 2016. — С. 74-75.
8. *Talalay I.V., Kurgansky A.V., Machinskaya R.I.* EEG-source coherence analysis of cued anticipatory attention in visual and auditory version of the temporal order judgment task / Conference: *Fifty-Fifth Annual Meeting of the Society for Psychophysiological Research At: Westin Hotel, Seattle, Washington, USA // Psychophysiology.* — 2015. — 52(suppl.1) — S59.
9. *Талалай И.В.* Функциональная организация предстимульного модально-специфического внимания при произвольной преднастройке и серийном научении // *Collegium Linguisticum* — 2014. Тезисы докладов. — 2014.