

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

Председатель ГЭК,
профессор
_____ С.Л. Соловьева

Выпускная квалификационная работа аспиранта на тему:


***ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ПРИ ПЕЧАТИ НА
КОМПЬЮТЕРЕ***

по основной образовательной программе «Клиническая психология»

Рецензент
Кандидат психологических наук,
Руководитель департамента психологии
НИУ ВШЭ,
Чумакова Мария Алексеевна,

_____ (подпись)

Исполнитель
Аспирант 3 года обучения
Момотенко Дарья

 (подпись)

Научный руководитель
кандидат психологических
наук,
старший преподаватель
кафедры медицинской
психологии и психофизиологии
Горбунов Иван Анатольевич

_____ (подпись)

Аннотация

Печать является многоуровневым процессом, в котором задействованы когнитивные, исполнительные и моторные функции. В связи с ее иерархической организацией, появляется возможность изучения психофизиологических особенностей высших психических функций в естественной среде путем анализа автоматизированной моторной деятельности, такой как печать. Целью данной работы является выявление психофизиологических коррелятов исполнительных функций через печать на компьютере. В данном исследовании представлено два ЭЭГ эксперимента, направленных на копирование и формулирование предложений. Уровень развития исполнительных функций измерялся с помощью методик UNIT и BRIEF-2. Выборка составляла 49 человек ($M(SD)=18.64(0.74)$), предварительно подтвердивших автоматизированность навыка печати. По результатам исследования, в гамма ритме при копировании предложений было построено две регрессионные модели, которые могут отражать процессы припоминания и извлечения информации из рабочей памяти. Также было обнаружено, что чем выше уровень развития исполнительных функций (торможения, переключения и рабочей памяти), тем выше мощность бета ритмов в префронтальных и фронтальных областях. При этом, если в задачу по формулированию предложений добавлялась дополнительная нагрузка в виде припоминания, то наблюдалась прямо пропорциональная зависимость между уровнем развития исполнительных функций и активацией бета ритма. Резюмируя, можно говорить о значительном вкладе исполнительных функций в процессы печати, и возможностях их потенциального развития, путем автоматизации данного навыка.

Ключевые слова: Исполнительные функции, Рабочая память, Исполнительный контроль, Торможение, ЭЭГ, Нейрофизиология, Печать.

PSYCHOPHYSIOLOGICAL MODELS OF EXECUTIVE FUNCTIONS DURING TYPING ON A COMPUTER

Annotation

Typing is a multi-level hierarchical process involving cognitive, executive and motor functions. It is possible to investigate the psychophysiological indicators of mental processes in the natural environment by analyzing automated motor activity, such as typing. The aim of this work is to identify psychophysiological correlates of executive functions during computer typing. This study presents two EEG experiments aimed at copying and formulating sentences. UNIT and BRIEF-2 were used to measure the development of executive functions. The sample consisted of 49 people ($M(SD)=18.64(0.74)$), who previously confirmed the automation of the typing skill. According to the results, two GLMR models were built in the gamma rhythm during copying sentences, which could have reflected the remembering and extracting information from working memory. It was also found that the higher the level of executive functions (Inhibition, Switching and Working Memory), the higher the power of beta rhythms in the prefrontal and frontal areas.

At the same time, if an additional remembering task was added to the formulating sentences, a directly proportional relationship between the level of executive functions and the activation of beta rhythm was observed. Summarizing, the significant contribution of executive functions to the typing processes could occur in their potential development by automating this skill.

Key Words: Executive functions, Working Memory, Executive control, Inhibition, EEG, Neurophysiology, Typing.

Оглавление

Ключевые понятия и их определения	6
Введение	8
Глава 1. Психофизиология исполнительных функций в процессе печати на компьютере.....	14
1.1. Исполнительные функции: определение и классификация.....	14
1.1.1 Рабочая память	16
1.1.2. Модели рабочей памяти	17
1.1.3 Нейрофизиологическая рабочей памяти.....	19
1.1.4. Центральное управление: исполнительный контроль	20
1.1.5. Нейрофизиология исполнительного контроля.....	22
1.2. Теоретические основы печати.....	23
1.2.1. Модель двух петель обратной связи при печати	25
1.2.2. Нейрофизиология печати	26
1.2.3. Способы изучения нейрофизиологии печати.....	27
1.2.4. Вызванные потенциалы при печати	28
1.2.5. Спектральные вызванные потенциалы при печати	31
1.2.6. Анализ фоновой ЭЭГ при печати.....	32
1.2.7. Резюме	33
Глава 2. Методы исследования	37
2.1. Поведенческие методы.....	40
2.1.1. Исследование исполнительных функций. BRIEF-2	40
2.1.2. Исследование исполнительных функций. UNIT	43
2.2. Психофизиологические методы	48
2.2.1. Копирование предложений.....	50
2.2.2. Формулирование предложений	51
2.3. Математико-статистические методы обработки данных.	53
Глава 3. Результаты и Обсуждение	55
3.1. Результаты поведенческих методик	55
3.1.1. Результаты корреляционного анализа поведенческих методик	56
3.1.2 Результаты поведенческих показателей в процессе печати на компьютере	58
3.2. Результаты анализа ЭЭГ данных	59
3.2.1. Результаты анализа ЭЭГ данных в процессе припоминания предложений	59
3.2.2. Результаты анализа ЭЭГ данных в процессе свободной печати по картинке	61
3.2.3. Групповые различия между экспериментами по припоминанию предложений и формулированию предложений.....	66
Выводы	69

Заключение	71
Список используемой литературы	73
Приложение 1. Информированное согласие на исследование	86
Приложение 2. Одобрение этического комитета.	88
Приложение 3. Стимульный материал для ЭЭГ эксперимента «Копирование предложений» .	90
Приложение 4. Стимульный материал (слова) для ЭЭГ эксперимента «Формулирование предложений»	91
Приложение 5. Стимульный материал (примеры изображений) для ЭЭГ эксперимента «Формулирование предложений»	92
Приложение 6. Форма опросника BRIEF-2	93
Приложение 7. Результаты LMM анализа по припоминанию предложений.....	95

Ключевые понятия и их определения

Исполнительные (регуляторные) функции – способность удерживать информацию в рабочей памяти и подавлять неосознанные реакции на внешнюю стимуляцию (Баарс & Гейдж, 2014).

Исполнительный контроль – способность контролировать и регулировать свое внимание, поведение, мысли и эмоции, с целью преодоления внутренней интенции или внешней стимуляцию, чтобы совершить целенаправленное и осознанное действие (Diamond, 2013).

Переключение – способность человека целенаправленно переключаться между задачами, мыслями и действиями (Baggetta & Alexander, 2016).

Печать – это комплексный иерархический процесс, который задействует исполнительные, когнитивные и моторные функции. Моторный компонент проявляется как множество последовательных нажатий клавиш, которое управляется определенными моторными программами, регулируемые исполнительными функциями (Logan & Cramp, 2011).

Рабочая память – это комплекс психических процессов, посредством которых ограниченный объем информации удерживается в состоянии временной доступности для обслуживания когнитивной деятельности (Баарс & Гейдж, 2014).

Торможение – целенаправленная и сознательная способность контролировать автоматизированные или импульсивные мысли и действия (Baggetta & Alexander, 2016).

Формулирование предложений – способность продуцировать грамматически и семантически корректные предложения (Coret, M. C. & McCrimmon, A. W. (2015). Test review: Wiig, EH, Semel, E., & Secord, WA (2013). Clinical evaluation of language fundamentals–fifth edition (CELF–5).).

Введение

Письменная речь – это форма речи, связанная с выражением слов с помощью графических обозначений. Письменная речь произвольна, поскольку предполагает анализ и синтез как с грамматической, так и с фонетической и синтаксической точек зрения. По мере развития компьютерных технологий письменная речь становится все более распространенной, а в некоторых профессиях может практически полностью заменить устную речь. Так дети, начиная с 6 лет и ранее, могут печатать на планшетах или телефонах поисковые запросы для детских каналов (Scaltritti, Alario & Longcamp, 2018), а пожилые люди начинают осваивать новые методы связи и общаются в социальных сетях (Scaltritti, Alario & Longcamp, 2018). Широкое распространение и использование клавиатур повысило навык автоматизированной печати у обычных пользователей до уровня опытных стенографисток (Zhang et al., 2018). Таким образом, в наши дни становятся актуальными исследования письменной речи при печати на компьютере и альтернативных устройствах. Их результаты могут найти применение в различных практических областях: начиная от клинической диагностики речевых или когнитивных нарушений и заканчивая разработкой нейроинтерфейсов—устройств, помогающих респондентам управлять компьютерными программами без участия мышечной активности) (Lebedev & Nicolelis, 2017; Soghoian et al., 2020).

Большинство работ, посвященных психофизиологии печати, можно разделить на три группы. Во–первых, они отвечают на вопрос, как взаимосвязаны центральные и периферические отделы нервной системы при печати. Исследования в данной области направлены на разработку различных теоретических и математических моделей печати (Wang & Zhang, 2021). Второй блок исследований включает в себя работы,

изучающие ингибирующие и активационные процессы в мозге при различных способах печати (Kalfaoğlu, Stafford & Milne, 2018). Третьим блоком исследований, наиболее часто встречающимся в литературе, является изучение и разработка нетрадиционных способов печати, например, нейроинтерфейсы, печать на сенсорной клавиатуре или печать с помощью датчиков в ротовой полости (Scaltritti, Alario & Longcamp, 2018; Wang & Zhang, 2021).

Учитывая распространенность навыка печати в современном мире, изучение данного феномена может дать ценную информацию об уровнях иерархической работы нейрофизиологических систем при формировании навыков и сознательной регуляции деятельности, т.е. об исполнительном контроле деятельности (Pinet et al., 2015). В этом и заключается **актуальность** исследования. Человеческая деятельность состоит из множества программ последовательностей действий, подверженных иерархическим законам (Pinet & Nozari, 2020; Zhang et al., 2018). Параллельная обработка информации из окружающей среды и упорядочивание действий являются важными факторами формирования навыков. Чем быстрее и качественнее производится обработка, тем лучше формируется навык (Scaltritti, Dufau & Grainger, 2018). Печать – является одним из таких навыков. Одной из самых популярных психофизиологических моделей печати в настоящий момент является модель двух петель обратной связи, которая иллюстрирует взаимодействие центральных и периферических отделов головного мозга. Эксперименты, построенные на этой модели, отражают работу различных когнитивных процессов.

Новизна исследования состоит в том, что нами не было найдено исследований, которые бы непосредственно изучали работу ИФ при печати, несмотря на то, что сама модель двух петель построена на принципе иерархического контроля. Иерархический контроль функционирует как

система взаимодействия элементов в отношении один–ко–многим (Pinet et al., 2015). Данная система состоит из отдельных элементов, которые образуют иерархию. Тем не менее, процессы когнитивной обработки в данной иерархии могут не носить иерархический характер, а выполняться параллельно (Kuanar et al., 2018). Например, при печати механизмы формулирования предложения и набора слов могут выполняться в одно время, поскольку эти действия задействуют разные психические процессы и области головного мозга.

Практическая значимость данного исследования состоит в том, что свободная печать может быть повсеместно применена как в диагностике, так и в развитии современных технологий. Поскольку в процесс печати большой вклад вносят ИФ, важным шагом на пути их исследования будет разработка специфических экспериментов по их изучению, включающих в себя дополнительную оценку ИФ с помощью методик или опросников. В настоящее время достаточно много литературы посвящено нейроинтерфейсам. В подобных исследованиях изучается нейронная активность при различных способах ввода информации (печать на сенсорной панели, с помощью клавиатуры и т.д.). Чаще всего участникам предлагается копировать заданный текст или формулировать отдельные предложения. Нами не было обнаружено исследований в области нейроинтерфейсов, в которых использовалась свободная печать. В повседневной жизни чаще всего встречается свободная речь, поэтому так важно рассматривать ее особенности в процессе разработки новейших технологий, таких как нейроинтерфейсы, а также в задачах диагностики. Подводя итог, можно сказать, что печать является примером многоуровневой функциональной когнитивной деятельности, которая затрагивает комплекс психических процессов, включающих в себя ИФ, т.е. исполнительный контроль, рабочую память и саморегуляцию. Соответственно, исследование печати может стать одним из способов

изучения данных феноменов. Особенное внимание стоит уделить изучению психофизиологии печати, поскольку подобные работы могут дать ценные сведения о реализации иерархических систем в головном мозге. В данном исследовании планируется использовать две методики для изучения исполнительных функций: уровень развития исполнительных функций респондента оценивался с помощью самоопросника «Краткая шкала исполнительных функций» (BRIEF, Behavior Rating Inventory of Executive Function) (BRIEF; Gioia, Isquith, Guy, & Kenworthy, 2000) и универсального невербального теста интеллекта (UNIT, Universal Nonverbal Intelligence Test, Second Edition, Bracken, McCallum, 2016). Такой выбор опосредован тем, что в литературе рекомендовано оценивать исполнительные функции комбинацией опросников и методик. Также в исследовании проводилось два психофизиологических эксперимента, направленных на копирование и формулирование предложений. В процессе экспериментов регистрировалась электроэнцефалограмма (ЭЭГ).

Объектом данного исследования являются исполнительные функции, в частности процессы функционирования рабочей памяти, исполнительного контроля, а также процессы переключения и торможения.

Предметом исследования являются нейрофизиологическая активация головного мозга в процессе печати.

Целью данного исследования является определить нейрофизиологические корреляты исполнительных функций при печати и спрогнозировать уровень развития исполнительных функций по электрофизиологической активности в процессе печати.

Для реализации данной цели нами были поставлены следующие **задачи**:

1. Определить, какие из поведенческих показателей исполнительных функций в проведенных методиках демонстрируют между собой наибольшую корреляцию.
2. Определить, какие из поведенческих характеристик печати могут выступать дополнительным фактором в модели исполнительных функций при печати.
3. Оценить уровень взаимодействия поведенческих характеристик печати с уровнем развития исполнительных функций.
4. Оценить частотно-временные характеристики нейрональной активации в процессе выполнения задачи на печать припоминаемого текста в зависимости от уровня развития рабочей памяти и процессов торможения.
5. Оценить частотно–временные характеристики электрической активности в процессе свободной печати в зависимости от уровня развития исполнительных функций.
6. Сравнить частотно–временные характеристики электрической активности в процессе свободной печати и при печати припоминаемого текста.

Исходя из вышеописанного можно сформулировать следующие **гипотезы** исследования:

1. Существует модель, которая может описать нейрофизиологию исполнительных функций через активацию гамма и бета ритмов при печати на компьютере.
2. Существуют различия в нейрональной активации во вкладе различных исполнительных функций в процессы формулирования и копирования предложений.

Также определим операциональные гипотезы, на основе вышеописанных.

1. Будет наблюдаться значимая корреляция между результатами методик BRIEF-2 и UNIT, которые измеряют уровень развития соответствующих исполнительных функций.
2. Будет наблюдаться статистически значимый вклад уровня развития исполнительных функций в поведенческие показатели при печати.
3. Будет наблюдаться статистически значимый вклад показателей развития исполнительных функций в активацию моторной коры в высокочастотных ритмах при печати припоминаемого текста.
4. Будет наблюдаться статистически значимый вклад показателей развития исполнительных функций в активацию моторной коры в высокочастотных ритмах при свободной печати текста по картинке.
5. Будет наблюдаться статистически значимые различия в высокочастотных ритмах между процессами свободной печати по картинке и печати в процессе припоминания текста.

Глава 1. Психофизиология исполнительных функций в процессе печати на компьютере.

1.1. Исполнительные функции: определение и классификация.

В исследовательской литературе исполнительные функции (ИФ) описываются как способность удерживать информацию в рабочей памяти и подавлять неосознанные реакции на внешнюю стимуляцию (Баарс & Гейдж, 2014). ИФ являются основой для волевого исполнительного контроля поведения (Baggetta & Alexander, 2016; Çak et al., 2017), а также задействованы в процессах эмоциональной регуляции, в планировании и принятии продуманных решений (McAuley et al., 2010).

На настоящий момент существует большое количество исследований, направленных на изучение исполнительных функций. Остро стоит вопрос об определении, функциях, локализации и способе измерения данного феномена. Тем не менее, исходя из анализа литературы можно определить некоторые основные характеристики и функциональные компоненты исполнительных функций (Çak et al., 2017; McAuley et al., 2010). Также следует обратить внимание на то, какие способности составляют исполнительные функции, какие процессы в них включаются (Roth et al., 2015). Эта тема в том числе привлекательна для исследователей, потому как роль ИФ в процессе когнитивного (или исполнительного) контроля и регуляции поведения определена, но вопрос о концептуализации и операционализации данного процесса остается открытым (Baggetta & Alexander, 2016). Исполнительные функции затрагивают когнитивные процессы более высокого порядка, которые участвуют в планировании и предвосхищении событий. Когнитивные навыки респондента, которые включены в эту структуру, сопутствуют регуляции эмоций, принятию продуманных решений и планированию собственных действий (Baggetta & Alexander, 2016; McAuley et al., 2010).

Необходимо отметить, что исполнительные функции обычно разделяют на «холодные» и «горячие». При этом, к «холодным» функциям относят блок когнитивных процессов, таких, как рабочая память, торможение, исполнительный контроль, решение задач, когнитивная гибкость, переключение между задачами, многозадачность, распознавание ошибок, мониторинг деятельности (Salehinejad et al., 2021). Тогда как к «горячим» функциям относятся эмоциональная регуляция, саморегуляция, социальные когниции, аффективные решения, рискованное поведение и прочие процессы, которые взаимосвязаны с эмоциональной обратной связью (Salehinejad et al., 2021).

В настоящем исследовании мы остановимся только на блоке «холодных» исполнительных функций. Зачастую в литературе упоминается, что ИФ по трехмерной модели Мияке (Miyake et al., 2000) включает в себя три блока, такие как как торможение, обновление и переключение (Baggetta & Alexander, 2016, Roth et al., 2015). Блок торможения включает в себя исполнительный контроль, который рассматривается как целенаправленная и сознательная способность контролировать автоматизированные или импульсивные мысли и действия (Baggetta & Alexander, 2016).

Вторым блок – это блок переключения, или, как определяют некоторые исследователи – это блок процесса когнитивной гибкости (Diamond, 2013), который демонстрирует способность человека рассматривать различные точки зрения, вставать на место другого человека, целенаправленно переключаться между задачами, мыслями и действиями (Baggetta & Alexander, 2016). Также этот блок включает в себя способность к намеренному переключению, фокусированию внимания (Diamond, A. (2013), процессам целенаправленности и избирательности внимания. Третий блок – блок обновления, зачастую рассматривается через

функционирование рабочей памяти. Рабочая память отвечает за хранение и актуальную переработку информации. Она поддерживается процессами сохранения информации об актуальной задаче и обработкой уже хранящейся информации, которая имеет непосредственное отношение к данной задаче. Также функцией рабочей памяти является фильтрация необходимой информации в конкретной ситуации (Baggetta & Alexander, 2016).

1.1.1 Рабочая память

Одним из основных компонентов ИФ является рабочая память, которая включает в себя процессы удержания и обработки информации в уме (или, другими словами, работу с информацией, которая больше не присутствует в восприятии; Baddeley & Hitch 1994, Smith & Jonides 1999). Рабочая память – это комплекс психических процессов, посредством которых ограниченный объем информации удерживается в состоянии временной доступности для обслуживания когнитивной деятельности (Cohen et al., 2008; Баарс & Гейдж, 2014). Рабочую память можно разделить по содержанию на вербальную и визуально–пространственную рабочую память (Diamond, 2013). Рабочая память принимает непосредственное участие в процессах восприятия, припоминания обработки и продуцирования информации (Diamond, 2013). Это относится, как к устной и письменной речи, так и к выполнению различных математических задач, что дополнительно демонстрирует нам разнообразие модальностей рабочей памяти. Рабочая память участвует в таких процессах, как мысленное изменение порядка элементов, преобразование инструкций в планы действий, включение новой информации в планы действий (обновление), рассмотрение альтернатив и мысленное сопоставление информации, для вывода принципа взаимосвязи между элементами.

В настоящий момент все еще отсутствует всеобъемлющая классификация памяти (Chai, Namid, Abdullah, 2018), тем не менее, наиболее используемая сейчас классификация выделяет долговременную, кратковременную и рабочую память (Cowan, 2005; 2008). Принципиальное различие в долговременной и кратковременной памяти заключается в сроке хранения закодированной информации. Кроме того, в долговременной памяти хранится большой запас знаний о прошлом опыте каждого индивида (Cowan, 2008), тогда как в кратковременной памяти информация хранится непродолжительный промежуток времени: удержание последовательностей чисел или слов отражает этот компонент. Таким образом, рабочую память можно определять, как имеющую сходство с кратковременной, но обладающей функцией обработки и манипулирования информацией (Baddeley, 2007; 2012).

1.1.2. Модели рабочей памяти

Наиболее известная многокомпонентная модель рабочей памяти (Chai, Namid, Abdullah, 2018), утверждает, что рабочая память представляет собой многокомпонентную систему, которая обеспечивает хранение и обработку информации с целью оптимизации когнитивной деятельности (Baddeley & Hitch, 1974). Данная модель включает в себя три компонента: фонологическая петля (вербальная рабочая память), визуально–пространственный компонент (визуально–пространственная рабочая память) и центральный исполнительный контроль. Более поздний ее вариант (Baddeley, 2000a) включает также «эпизодический буфер», который рассматривается как системы внутреннего хранения, которая перераспределяет потоки сенсорной информации. Если рассматривать механизм функционирования модели, можно говорить, что центральный исполнительный контроль обеспечивает управление обработкой и хранением информации, которая затем распределяется по трем оставшимся

компонентам: вербальному, невербальному компонентам и эпизодическому буферу.

Альтернативная модель рабочей памяти, предложенная Коуэном (Cowan, 2008), которая в настоящий момент также является актуальной, рассматривает рабочую память как компонент кратковременного хранения информации, длительность и функциональность которого зависят от емкости рабочей памяти, а также уровня развития внимания и исполнительных функций, которые участвуют в обработке информации. В данной модели взаимодействие между кратковременной, долговременной и рабочей памятью построено иерархически, и рабочая память является частью «активированной» долговременной памяти.

Теоретическая рамка данной теории также согласуется с блоком ресурсных теорий. К примеру, модель, предложенная несколькими исследователями (Barrouillet & Camos, 2007), которая говорит о том, что когнитивная нагрузка и объем рабочей памяти, который требуется для реализации задачи, является продуктом процессов переключения и распределения внимания между этими задачами. То есть, чем больше ресурсов внимания есть у индивида, тем больший объем рабочей памяти он может задействовать, выделенные когнитивные ресурсы обеспечивали успешность выполнения данной задачи.

В данной работе мы планируем проверить работу данных моделей на практике печати. На важный вклад рабочей памяти в процесс печати указывает тот факт, что в моделях письменной речи рабочая память выступает как один из ключевых элементов процесса письма. Рабочая память, в том числе при печати, рассматривается как комплекс психических процессов, посредством которых ограниченный объем информации удерживается в состоянии временной доступности для обслуживания когнитивной деятельности (Cowan, 2008). Задача преобразования данных при печати требует привлечения рабочей памяти как буфера для хранения,

обработки и передачи информации. Можно выделить два типа моделей рабочей памяти, в рамках которых описывается процесс письма. Ресурсные модели, согласно описанию Е.Л. Григоренко (2012), разделяют процессы генерации текста, т.е. выбора лексических и синтаксических структур, и процессы транскрипции, т.е. орфографии и написания непосредственно (Baggetta & Alexander, 2016). В этих моделях присутствует концепция распределения ресурсов (Cheyne, Ferrari & Cheyne, 2012) между психическими процессами, согласно которой более трудная задача сильнее нагружает рабочую память (Cheyne, Ferrari & Cheyne, 2012). Тогда как с автоматизированностью процессов печати скорость обработки информации увеличивается. Чем выше навык автоматизированного письма, тем быстрее протекают процессы в рабочей памяти.

Альтернативные компонентные модели (Chai, Hamid, Abdullah, 2018), описанные выше, предполагают, что в рабочей памяти существуют обособленные домены, ответственные за различные когнитивные процессы. Так, например, процесс планирования связан с визуальной рабочей памятью, структурирование текста задействует пространственный компонент памяти, а за непосредственное написание, т.е. преобразование текста из устного в письменный, может отвечать фонологическая память.

1.1.3 Нейрофизиологическая рабочей памяти.

Большинство исследователей согласны, нейрофизиологическая основа ИФ связана с когнитивными процессами, происходящими в префронтальной коре (Lawson, Hook, & Farah, 2018). Исследования нейробиологии рабочей памяти продемонстрировали, что вербальная и акустическая информация активирует области Брока и Вернике, в то время как визуально–пространственная информация представлена в правом полушарии (Baddeley, 2000b). Тем не менее, современные исследования определяют топографию рабочей памяти в лобно–теменной доле

(дорсально–префронтальная кора, теменная кора и поясная извилина) (Chai, Hamid, Abdullah, 2018) или же говорят об общей нейросетевой активации. К примеру, дорсолатеральная префронтальная кора зачастую задействуется в задачах на исполнительный контроль (Kim et al., 2015), интеграцию информации или принятие решений (Jimura et al., 2017), обработки полученной информации (Rodriguez Merzagora et al., 2014) или процессов обновления полученной информации (Murty et al., 2011). В свою очередь, поясная извилина отвечает за процессы переключения внимания, который также задействован в корректировке и адаптации полученной информации (Osaka et al., 2003). Теменная область может рассматриваться как область хранения и обработки сенсорной и перцептивной информации (Chai, Hamid, Abdullah, 2018).

Тем не менее, большинство современных исследователей придерживаются точки зрения о том, что процессы активации рабочей памяти включают в себя активацию нейросетей по всему головному мозгу, то есть, функциональную активацию мозга в целом (Chai, Hamid, Abdullah, 2018). Тем не менее, в нейросетевых исследованиях также были показаны двунаправленные эндогенные связи между вышеуказанными областями в лобно–теменной коре (Friston et al., 2013; Ma et al., 2012).

Если обращаться к более глубоким структурам, то исследования демонстрируют, что в процессах рабочей памяти также задействованы базальные ганглии (Moore et al., 2013), медиадорсальный таламус (Volkan et al., 2017), средний мозг (Murty et al., 2011), а также мозжечок (Ziemus et al., 2007), что также иллюстрирует работу всего мозга в процессе активации рабочей памяти.

1.1.4. Центральное управление: исполнительный контроль

Исполнительный (сдерживающий, тормозящий или когнитивный) контроль рассматривается в литературе как способность контролировать и регулировать свое внимание, поведение, мысли и эмоции, с целью преодоления внутренней интенции или внешней стимуляции, чтобы совершить целенаправленное и осознанное действие (Diamond, 2013). Исполнительный контроль позволяет подавлять внимание к другим стимулам, концентрируя внимания на конкретной задаче. Наиболее иллюстративный пример работы этой функции можно наблюдать при эффекте «коктейльной вечеринки», когда респондент осознанно фокусирует внимание только на одном стимуле, игнорируя все прочие. Зачастую исполнительный контроль измеряется через точность и скорость реакции в задачах на множественный выбор. Такими задачами может быть тест Струппа (Heidlmayr, Kihlstedt & Isel, 2020), задача «go–no go» (Eagle, Bari & Robbins, 2008), задача Саймона (Cohen et al., 2008, Burle et al., 2002), задача Фланкера (Kopp, Rist & Mattler, 1996) или антисаккадные задачи (Bialystok, Craik & Ryan, 2006). Такого рода тесты, требующие ингибирующего (или тормозящего) контроля, отлично иллюстрируют работу исполнительных функций. Они демонстрируют способность фокусироваться на конкретной, наиболее наполненной смысловой задаче, и игнорировать все прочие, побочные стимулы. Так, в задаче Струппа, респондента просят прочесть слово, не обращая внимания на цвет чернил. Если апеллировать к процессам печати, то яркой иллюстрацией данного процесса будет являться корректировка слова, то есть, удаление напечатанного. Респондент должен следить за смысловым содержанием текста, исправляя ошибки в процессе (Śmigasiewicz et al., 2020). И, если сам процесс набора клавиш может быть условно автоматизирован, то есть, в данном процессе не будут задействованы высшие психические функции, то исправление ошибок очевидно требует включения механизмов торможения и исполнительного контроля (Duque et al., 2010).

Важно отметить, что исполнительный контроль затрагивает все этапы печати, начиная от формулирования предложений и заканчивая непосредственным набором текста. Когнитивные усилия, которые затрачиваются при письме, зависят от уровня навыка пользователя. При написании текста от руки более опытные авторы затрачивали меньше усилий (Cheyne, Ferrari & Cheyne, 2012; Qu et al., 2020). Таким образом, автоматизация почерка у взрослых позволяет им активировать процессы письма высокого уровня (планирование, обработка и редакция написанного) одновременно с письмом (Berninger et al., 1994). Тот же самый принцип сохраняется и при печати на клавиатуре (Kalfaoğlu, Stafford & Milne, 2018).

1.1.5. Нейрофизиология исполнительного контроля

Если говорить о нейрофизиологии исполнительного контроля, префронтальные области коры выполняют в мозге важную управляющую функцию. Префронтальная кора отвечает за высокоорганизованное целенаправленное поведение (Баарс & Гейдж, 2014), частью которого в том числе является иерархический исполнительный контроль. Процессы целеполагания, планирования, мониторинга и оценки результатов включены требуют активации исполнительного контроля на каждом из этапов. Исследования (Burler et al., 2016; Cheyne, Ferrari & Cheyne, 2012; Vidal et al., 2003) показывают, что при активации исполнительного контроля можно наблюдать активность в дорсолатеральной префронтальной коре, в цингулярной коре. В случае необходимости пространственного поиска – в теменной коре (Heidlmayr, Kihlstedt & Isel, 2020).

Тем не менее, в исследованиях, касающихся исполнительного контроля, показано, что часть активации приходится также на автоматизированные действия, которые не задействуют исполнительный

контроль (Kalfaoglu, Stafford & Milne, 2018). Стоит отметить, что автоматизированные процессы могут включать в себя контроль в случаях, когда была совершена ошибка, или привычная стратегия была нарушена. Примером такого действия может быть обнаруженная в тексте ошибка (тогда печать процесс печати активирует исполнительный контроль), перелом руки (в таком случае привычные движения необходимо будет восстанавливать) или перекрытие дороги на привычном маршруте (в таком случае возникает необходимость перестройки когнитивной карты). Данные примеры отражают переключение между автоматизированной и осознанной деятельностью. Следует отдельно остановиться на процессах произвольного управления движениями. Иерархический контроль функционирует как система взаимодействия элементов в отношении один–ко–многим (Logan, Crump, 2011). В случае печати это хорошо иллюстрируется на примере последовательного набора буква – слово – словосочетание – предложение – текст. Данная система состоит из самостоятельных элементов, которые организуют иерархию. Тем не менее, процессы когнитивной обработки в данной иерархии могут носить неиерархический характер, а выполняться одновременно (Scaltritti et al., 2017). Например, при печати процессы формулирования предложения и печати слова могут выполняться в одно время, потому как эти два процесса задействуют разные психические процессы и области головного мозга. Предложение может быть сформулировано полностью, но процесс моторного ответа не успевает за скоростью формирования предложения.

1.2. Теоретические основы печати.

Печать – это комплексный процесс, который задействует как когнитивные, так и моторные функции, анализ только речевой продукции недостаточен для формирования единой теории развития и функционирования речевых навыков при письме.

В когнитивных исследованиях печать чаще всего изучается посредством оценки когнитивной нагрузки, связанной с различными условиями набора текста. Рассмотрим исследование (Burle et al., 2016), в котором респонденты, не имевшие возможности исправить ошибку в тексте, были более успешны: их скорость печати была выше, и они совершали меньше ошибок. Существует несколько условий, позволяющих снизить когнитивную нагрузку при печати и сделать ее автоматизированной: печать без исправления ошибок (Burle et al., 2016), знакомая клавиатура (Yang et al., 2018), навык слепой или полуслепой печати (Pinet et al., 2015). Когда печать перестает быть автоматизированной, появляется дополнительная когнитивная нагрузка. Процесс речевой продукции усложняется не только двигательными усилиями, необходимыми для набора слов, но и когнитивными усилиями по поиску определенных букв на клавиатуре. Эти когнитивные процессы задействуют пространственное мышление, исполнительное внимание и рабочую память (García-Marco et al., 2019; Kuanar et al., 2018; Pinet et al., 2015). При автоматизированной печати когнитивные функции могут быть не задействованы, а набор текста будет осуществляться за счет механической памяти (Wang & Zhang, 2021). Таким образом иерархия процессов формулировки и реализации текста при печати идет автономно, и деятельность становится продуктивнее. Несмотря на признание роли рабочей памяти при наборе текста, в современных когнитивных исследованиях не представлено комплексное изучение ИФ в процессе печати.

Один из главных вопросов, возникающий в большинстве исследований, связан с ролью центральной и периферической нервной системы при печати. Ряд исследователей считает, что процесс печати происходит поэтапно, а значит центральные и периферические отделы функционируют автономно, последовательно передавая друг другу

контроль над процессом печати. Другие авторы говорят о существовании иерархической взаимосвязи между ними, в которой центральные отделы корректируют работу периферических систем на всем протяжении набора текста (Berlot et al., 2019; Hamzei et al., 2002).

1.2.1. Модель двух петель обратной связи при печати

В настоящий момент ведущая теория, описывающая процессы печати – это модель двух петель обратной связи (two feedback loops). Описанные в ней петли обладают специфическими свойствами, касающимися обработки слов (Crump & Logan, 2010). Эта модель основана на принципе иерархического контроля когнитивных процессов при печати (García-Marco et al., 2019) и наиболее полно отражает нейрофизиологию печати на компьютере. Согласно данной модели, внешняя петля отвечает за процесс формулирования предложения, а внутренняя – за его непосредственную реализацию при печати. Внешняя петля начинается с понимания или формулирования речи и заканчивается в момент генерации серии слов, которые должны быть напечатаны. Внутренняя петля, в свою очередь, начинается с получения слова, которое требуется напечатать, и заканчивается последовательным нажатием клавиш (Crump & Logan, 2010). Эта теория включает в себя глобальные процессы (формулирование и реализацию), не заостряя внимание на моторике пальцев. Тогда как в более ранних моделях, например, Румельхарта и Нормана (Rumelhart & Norman, 1982), большое внимание уделялось моторному компоненту печати. Согласно данной модели, печать – это сложная деятельность, включающая в себя множество последовательных действий, потому как нажатие клавиш управляется определенными моторными программами (motor schema) (Rumelhart & Norman, 1982). Они собраны в иерархические схемы, каждая из которых исполняет свою функцию (Botvinick & Plaut, 2004). В частности, при печати задействованы две руки, поэтому необходим контроль за

перемещением пальцев, положением плеча и предплечья (Rumelhart & Norman, 1982). Помимо параллельных процессов обработки информации, т.е. планирования движения для каждой клавиши, необходимо объединять их в моторные комбинации для набора целого слова (Logan, Miller & Strayer, 2011). Комбинирование отдельных движений в паттерны происходит за счет процессов последовательного ингибирования при нажатии клавиш (Botvinick & Plaut, 2004; Praamstra & Seiss, 2005). При печати слова сначала активируется движение, связанное с набором первой буквы, а все последующие движения ингибируются (Nirkko et al., 2001). После набора первой буквы моторная схема перестраивается, и активным становится движение, связанное со следующей буквой. Таким образом, возникает последовательная конгруэнтная система глобальной активации (Rumelhart & Norman, 1982). Моторным механизмам печати в литературе уделялось достаточно внимания, и в данных момент они подробно описаны. Однако в настоящее время не существует единой теории, описывающей все этапы печати, начиная от формулирования предложений и заканчивая уровнем моторной реализации движений при печати.

1.2.2. Нейрофизиология печати

Поскольку печать – это зачастую осознанная деятельность, которая требует согласованности действий и некоего контроля над ними, рассмотрим систему, которая была предложена Миллером (Miller et al., 1960) и до настоящего времени остается актуальной. Он предположил, что процесс печати управляется с помощью TOTE, что расшифровывается как «test, operate, test, exit» (проверка, реализация, проверка, выход). Этот механизм аналогичен процессу прекращения обратного распространения ошибки. Рассмотрим его на примере печати буквы «Й». После постановки цели (напечатать букву Й) выполняется проверка – сличение актуального состояния с желаемым (как далеко от буквы Й находится палец). Если

актуальное состояние отличается от желаемого (палец далеко), производится уменьшение разницы между состояниями (палец перемещается). После этого производится еще одно сличение актуального состояния с текущим. Если задача может быть выполнена корректно (палец находится на клавише Й), то цикл завершается. Если задача не может быть выполнена корректно (например, палец вместо Й нажал на Ц), то процесс запускается сначала. В данном примере задача будет изменена, потому что перед тем, как напечатать корректную клавишу Й, необходимо будет стереть некорректную Ц с помощью клавиши удаления (Backspace), что усложняет процесс печати. Если при печати респондент исправляет ошибки, механизм TOTE становится иерархическим – последовательность печати букв изменяется, поскольку в плане печати появляется новая клавиша (Śmigasiewicz et al., 2020). Это может иллюстрировать процесс передачи информации из внешней петли во внутреннюю.

1.2.3. Способы изучения нейрофизиологии печати

В настоящее время крайне мало исследований, направленных на изучение нейрофизиологии печати (García-Marco et al., 2019; Crump & Logan, 2010). Принципы работы головного мозга в процессе печати до конца не изучены, и не существует единого понимания природы нейрональных процессов, лежащих в их основе. Также остается открытым вопрос о возможностях применения знаний о нейрофизиологии печати в практике и диагностике. Ниже будут описаны некоторые работы, посвященные данной проблеме.

Существуют электрофизиологические (ЭЭГ) исследования, которые подтверждают активацию ипсилатеральной (Burle et al., 2016) и контралатеральной (Burle et al., 2002; Burle et al., 2016; García-Marco et al., 2019) моторной коры перед нажатием клавиши. Активация ипсилатеральной коры в процессе реализации движения подтверждается и

другими физиологическими методами: магнитоэнцефалография (Cheyne, 2013), транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС) (Donner et al., 2009; Zhang et al., 2018) и функциональная магнитно–резонансная томография (Leuthold, Sommer & Ulrich, 2004). Также было обнаружено, что активность ипсилатеральной моторной коры увеличивается по мере усложнения производимого ответа (García-Marco et al., 2019). Снижение возбудимости ипсилатеральной моторной коры регистрируется с помощью ЭЭГ как положительный компонент, появляющийся до моторного ответа и рассматривающийся как ожидание ответа (Zhang et al., 2018). В экспериментах, оценивающих различие времени реакции при наборе текста левой и правой рукой, контралатеральная и ипсилатеральная активность могут модулироваться независимо друг от друга. Предполагается, что они являются различными процессами: контралатеральная кора активируется при наборе правильного ответа, а ипсилатеральная кора ингибируется при неправильных ответах (Burle et al., 2016). Далее будут рассмотрены несколько методов изучения печати, чтобы определить наиболее подходящие для исследования ИФ.

1.2.4. Вызванные потенциалы при печати

Два основных вызванных потенциала (ВП), которые используются при анализе движений в процессе печати – это условная отрицательная вариация (contingent negative variation, CNV) и латерализованный потенциал подготовки моторного ответа (lateralized readiness potential, LRP). Ранняя волна CNV рассматривается как реакция ориентации на предупреждающий сигнал (Kuanar et al., 2018). Традиционно считается, что поздняя волна CNV отражает подготовку моторного ответа и, следовательно, идентична потенциалу готовности (readiness potential, RP) [14], негативному потенциалу в ЭЭГ, предшествующему произвольным движениям [14]. LRP предшествует RP, который демонстрирует большую

негативность в полушарии, противоположном реагирующей руке (Kuanar et al., 2018). LRP (Kuanar et al., 2018) – это вызванный потенциал (ВП), регистрируемый в моторной коре в ответ на начало движения. LRP обычно вычисляется в задачах, требующих левосторонних и правосторонних реакций, путем вычитания ипсилатеральной и контралатеральной амплитуды ВП, таким образом, фиксируя латерализацию ЭЭГ активности, генерируемой активацией специфической ответной руки (Perera, Shiratuddin & Wong, 2018). Амплитуда LRP является показателем относительной активации двух первичных зон моторной коры (Kuanar et al., 2018). LRP дает представление о пространственных или временных особенностях предстоящего движения. Например, данный потенциал может сообщать о направлении движения (например, вверх) или о руке ответа (левая или правая) (Perera, Shiratuddin & Wong, 2018). В исследованиях печати чаще используется LRP, поскольку данный потенциал может отражать процессы ингибирования и активации в процессе печати.

При изучении ИФ нас интересует чередование ингибирования и активации, поскольку в головном мозге именно они отражают исполнительный контроль иерархических процессов, управляющих печатью. Наиболее ярко функции ингибирования проявляются при печати двумя руками и предотвращают преждевременное нажатие клавиш, сигнал об активации которых уже был отправлен (Zhang et al., 2018). Если придерживаться гипотезы о том, что подготовка моторного ответа реализуется до начала печати, то процессы ингибирования необходимы для соблюдения иерархического контроля над последовательным нажатием клавиш (Labruna et al., 2014). Ингибирование должно достигать своего максимума перед первым нажатием клавиши, когда происходит суммация сигналов активации для всех последующих клавиш целевого слова (Pinet et al., 2015). При печати двумя руками буквы, которые должны быть напечатаны определенной рукой, ингибируются во время печати другой

рукой (Logan & Crump, 2009). Этот механизм предполагает ингибирование противоположащих кортикальных структур ипсилатеральных для руки, совершающей движение (Zhang et al., 2018). Исследователи (Zhang et al., 2018) сделали вывод, что вне зависимости от руки, которой производится печать, амплитуда LRP будет уменьшаться с нажатием каждой следующей буквы. Однако амплитуда от руки, которая первой приступила к печати, будет больше, чем амплитуда от второй руки.

Рабочая память также может изучаться с помощью LRP. Данный потенциал позволяет предсказывать последовательность нажатия клавиш при печати. Одно из исследований (Berlot et al., 2019) демонстрирует, что печать опирается на параллельную обработку при нажатии клавиш. В ходе эксперимента участникам предъявлялось слово, а затем требовалось напечатать определенную букву. Когда в праймированном слове присутствовала требуемая буква, ее печать производилась быстрее, что иллюстрирует функционирование рабочей памяти при печати. Местоположение буквы в слове при этом не влияло на скорость ответа. Анализ амплитуды LRP (Krueger et al., 2020), зафиксированной до первого нажатия клавиши при печати, показал, что амплитуда была выше, если все буквы в слове требовалось набирать одной рукой. Амплитуда уменьшалась в зависимости от количества переключений между руками. Это также подтверждает, что планирование печати (формирование моторных репрезентаций) происходит до момента начала набора текста.

Также существуют исследования, демонстрирующие высокую прогностическую валидность LRP для определения последовательности набора букв при печати двумя пальцами на сенсорной клавиатуре (Rumelhart & Norman, 1982). Подобные исследования могут открыть новые перспективы развития нейроинтерфейсов, которые в настоящий момент чаще всего базируются на потенциале P300, возникающем в ответ на новый непривычный стимул (Nguyen et al., 2018). Однако можно предположить,

что при печати более продуктивно будет использование LRP, потому как он напрямую связан с набором букв.

1.2.5. Спектральные вызванные потенциалы при печати

В литературе представлено несколько исследований, которые рассматривают спектральные ВП при печати. Так подготовка моторного ответа может выражаться в виде колебаний в бета–диапазоне частот (15–30 Гц) (Bai et al., 2005; Zhang et al., 2018). Существуют исследования о десинхронизации, связанной с событиями, в диапазоне бета–частот во время подготовки унимануальных движений (Alves, Castro, & Olive, 2008; Kičić et al., 2008). В заданиях, требующих печати слов или предложений, спектральные потенциалы, связанные с событием, регистрируются билатерально в промежутке от 400 мс до начала движения (Dhamala et al., 2003), особенно в случае последовательного нажатия трех и более клавиш (Krueger et al., 2019). Обычно считается, что данный эффект указывает на общий уровень моторной подготовки перед печатью слова. Тем не менее существуют различные исследования, рассматривающие данный эффект и как ингибирование, и как активацию в зависимости от контекста задачи (Miller, Lundqvist & Bastos, 2018). Так отрицательный потенциал спектральной активации регистрируется в моторной коре контралатерально эффектору и соответствует печати верного ответа в экспериментальном задании, в то время как положительный потенциал активации индексирует ингибирование ипсилатеральной моторной коры, ответственной за подавление ошибочных ответов (Crump & Logan, 2010; Taniguchi et al., 2001). Стоит отдельно отметить, что активность в бета–диапазоне также отражает уровень когнитивной нагрузки, возникающей в процессе печати, и связанной с работой исполнительного контроля (Leocani et al., 2001). Таким образом, изучая спектральные потенциалы, можно оценить функционирование исполнительного контроля у различных респондентов,

сравнивая эффекты активации и ингибирования при подготовке моторного ответа.

1.2.6. Анализ фоновой ЭЭГ при печати

В современной исследовательской литературе мало представлены работы, посвященные изучению фонового ЭЭГ (Wang & Zhang, 2021) в процессе печати. Немногие существующие исследования (Scaltritti et al., 2017; Wang & Zhang, 2021; Krueger et al., 2020) зачастую направлены на выявление спектральной активности, когерентности или коннективности в процессе письма. Одной из целей данных работ является определение уровня когнитивной нагрузки при печати. Согласно имеющимся данным, появление тета активности в фронтально–медиальной области при копировании текста (Meckler et al., 2010) свидетельствует об общем повышении когнитивной нагрузки в процессе печати. Рассинхронизация в теменных и затылочных областях в диапазоне тета и альфа–ритмов, проявляющаяся непосредственно после сенсорной печати (Wang & Zhang, 2021), свидетельствует о распределении ресурсов.

Анализ фоновой ЭЭГ при печати может стать ценным инструментом в диагностике дислексии. Результаты недавнего обзора (Scaltritti, Alario & Longcamp, 2018) показали, что в передней фронтальной зоне у детей с дислексией наблюдаются уникальные паттерны мозговой активности при сравнении с нормотипичными детьми.

Несмотря на существование работ, посвященных оценке когнитивной нагрузки при свободной печати (свободном формулировании предложений), ИФ практически не изучаются методом фонового ЭЭГ (Scaltritti, Suitner & Peressotti, 2020). Учитывая, что печать – это сложный иерархический процесс, который в полном объеме задействует ИФ, подобные исследования были бы крайне актуальными.

1.2.7. Резюме

На основании обзора литературы можно выделить несколько групп экспериментов, направленных на изучение печати. Каждая из этих групп освещает определенную проблематику, которую можно рассмотреть с позиции изучения психофизиологии исполнительных функций. Отдельно хотелось бы отметить, что в настоящий момент отсутствуют разработанные стандартизированные эксперименты по изучению ИФ в процессе печати. Поэтому при изучении данного феномена необходимо добавлять в дизайн эксперимента методики или опросники, направленные на оценку ИФ.

1. Торможение (Исполнительный контроль).

- Исследования по копированию слов одной или двумя руками направлены на анализ моторных схем, сформированных при автоматизации печати, а также для изучения процессов ингибирования и активации при реализации моторных команд (García-Marco et al., 2019). На примере задания по копированию слов можно описать принцип работы ИФ в рамках модели двух петель обратной связи (Logan & Crump, 2011). Во внешней петле происходит считывание и обработка стимула, а во внутреннюю петлю передаются команды по печати данного слова, которые там разделяются на отдельные символы для реализации процесса печати. Каждый символ соответствует определенному моторному паттерну, который выражается через нажатие на клавишу. В подобных экспериментах возможно анализировать как ВП, так и фоновую ЭЭГ для изучения процессов торможения нервной системы.

- Исследования по изучению корректировки ошибок во время печати также могут иллюстрировать изучение исполнительного контроля (Kalfaoglu, Stafford & Milne, 2018; Śmigasiewicz et al, 2020). Внутренняя петля полагается на обратную связь непосредственно от движений рук (корректная ли клавиша нажата), а внешняя петля ориентируется на

информацию, которая появляется на экране (верное ли слово напечатано). Так иллюстрируется процесс исполнительного контроля центральных отделов над периферическими. Появление ВП в ответ на нажатие клавиши «Backspace» и в момент исправления ошибки могут коррелировать с показателями ИФ респондента, измеренными с помощью поведенческих методик, тем самым иллюстрирую работу исполнительного контроля. Поскольку корректировка ошибок - это получение отрицательной обратной связи от периферии, можно сказать, что это также и способ реализации исполнительного контроля (Śmigasiewicz et al, 2020). Обратная связь об ошибке может быть получена двумя путями. Респондент может увидеть ошибку на экране и исправить ее после написания слова. В этом случае иллюстрируется работа центрального исполнительного контроля. Если же ошибка была исправлена в процессе печати, исполнительный контроль будет реализован на периферии без участия центральных отделов. Для проверки данной гипотезы необходимо провести два эксперимента: копирование и свободное формулирование предложений. При формулировании предложений контроль за исправлением ошибок по большей части будет осуществляться в центральных отделах, а при копировании - на периферии. Это может быть связано с тем, что при формулировании предложений задействован не только исполнительный контроль за моторикой печати, но и другие психические процессы, которые обеспечивают большую когнитивную нагрузку. Тем самым, исполнительный контроль также возможно зафиксировать путем спектрального анализа ЭЭГ данных.

2. Переключение (Когнитивная гибкость)

- Исследования моторных схем при печати слов и предложений иллюстрируют процесс переключения между активацией и торможением во время печати (Wang & Zhang, 2021). Процессы переключения также могут

изучаться с помощью LRP. Данный потенциал позволяет предсказывать последовательность нажатия клавиш при печати. Высота амплитуды LRP может продемонстрировать чередование процессов ингибирования и активации при печати, тем самым, иллюстрируя процесс переключения между передачей сигналов на правую или левую руку (van der Meer & Van der Weel, 2017).

-Исследования по печати слов или предложений по изображениям могут иллюстрировать процессы переключения при печати. Поскольку для печати слов по определенным изображениям (например, яблоко), требуется переключаться между различными модальностями, то при сравнении ЭЭГ данных при копировании слова, и при печати по картинке, можно наблюдать процессы переключения между вербальными и невербальными процессами (Pinet & Nozari, 2020).

Обновление (Рабочая память)

- В исследованиях по печати слов или предложений по памяти, как в видоизмененной задаче n-back (задача по припоминанию стимула, который предъявлялся «n» стимулов назад) (Miller, Lundqvist & Bastos, 2018), можно наблюдать не только объем припоминаемых слов, но и психофизиологию рабочей и семантической памяти при сравнении спектральной мощности в процессе копирования и припоминания предложений.

- Исследования по формулированию предложений по памяти также могут отражать процесс функционирования рабочей памяти. Внутренняя петля информационно изолирована - в ней обрабатывается только переданная на печать информация (слово). В свою очередь внешняя петля обладает более полной информацией (все предложение). Во внешней петле не хранится информации о том, какой рукой производится печать и как буквы размещаются на клавиатуре (Logan & Crump, 2011). Данный феномен отражает процесс хранения и обработки информации, который реализуется

в рабочей памяти. Поэтому, если демонстрировать респонденту слово и просить его сформулировать предложение с использованием данного слова, можно проследить процессы нейрональной активации и ингибирования в процессе печати (Miller, Lundqvist & Bastos, 2018). Поскольку слово будет задано предварительно, мы сможем проанализировать нейрофизиологию процессов рабочей памяти в зависимости от необходимости запоминания стимульного слова (Baus et al., 2005). В случае, когда слово будет представлено на экране во время выполнения задания, рабочая память не будет задействована, тогда как в случае его отсутствия, респонденту придется задействовать рабочую память.

Глава 2. Методы исследования

Исследование проведено при поддержке гранта РФФИ от 13.09.2020 № 20–313–90046\20, руководитель Григоренко Е. Л.

Объектом данного исследования являются исполнительные функции, в частности процессы функционирования рабочей памяти, исполнительного контроля, а также процессы переключения и торможения.

Предметом исследования являются нейрофизиологическая активация головного мозга в процессе печати.

Целью данного исследования является определить нейрофизиологические корреляты исполнительных функций при печати и спрогнозировать уровень развития исполнительных функций по электрофизиологической активности в процессе печати.

Для реализации данной цели нами были поставлены следующие **задачи**:

1. Определить, какие из поведенческих показателей исполнительных функций между методиками демонстрируют наибольшую корреляцию.
2. Определить, какие из поведенческих характеристик печати могут выступать дополнительным фактором в модели исполнительных функций при печати.
3. Оценить уровень взаимодействия поведенческих характеристик печати и уровнем развития исполнительных функций.
4. Оценить частотно временные характеристики нейрональной активации в процессе выполнения задачи на печать припоминаемого текста в зависимости от уровня развития рабочей памяти и процессов торможения.

5. Оценить частотно–временные характеристики электрической активности в процессе свободной печати в зависимости от уровня развития исполнительных функций.
6. Сравнить частотно–временные характеристики электрической активности в процессе свободной печати и при печати припоминаемого текста.

Исходя из вышеописанного можно сформулировать следующие операциональные **гипотезы** исследования:

1. Будет наблюдаться значимая корреляция между результатами методик BRIEF–2 и UNIT, которые измеряют уровень развития соответствующих исполнительных функций.
2. Будет наблюдаться статистически значимый вклад поведенческих показателей при печати в уровень развития исполнительных функций.
3. Будет наблюдаться статистически значимый вклад показателей развития исполнительных функций в активацию моторной коры в высокочастотных ритмах при печати припоминаемого текста.
4. Будет наблюдаться статистически значимый вклад показателей развития исполнительных функций в активацию моторной коры в высокочастотных ритмах при свободной печати текста по картинке.
5. Будет наблюдаться статистически значимые различия в высокочастотных ритмах между процессами свободной печати по картинке и печати в процессе припоминания текста.

Выборка исследования состояла из 49 человек ($M(SD)=18.64 (0.74)$), из них 28 женщин ($M(SD)=18,54(0,74)$), 18 мужчин ($M(SD)=18,94 (0,73)$).

Набор участников осуществлялся в сети «Интернет», по объявлениям в сообществах в социальной сети «ВКонтакте». Ограничения выборки определялись по возрасту (16-18 лет), навыкам печати (скорость не менее 150 символов в минуту, точность печати не менее 97%) и отсутствию черепно-мозговых травм и других неврологических нарушений. Тест печати проводился онлайн, результаты отправлялись рекрутеру в виде сертификатов о прохождении теста. Перед началом исследования все участники подписывали информированное согласие об участии, каждому из участников после исследования выдавалось вознаграждение в размере эквивалентном 1000 рублей.

Исследование проводилось в лаборатории междисциплинарных исследований человека при Санкт-Петербургском Государственном Университете. Процедура наших исследований включала в себя два блока: поведенческий и психофизиологический. В поведенческий блок входили методики, исследующие интеллект и исполнительные функции участника, а психофизиологический блок включал себя психофизиологический эксперимент и опросник ведущей руки (РИС 1). Все исследование занимало около 4 часов, между частями исследования делался перерыв не менее 1 часа.

Процедура сбора поведенческих данных начиналась со знакомства участника с методиками, которые ему предстояло выполнить. Далее последовательно участник заполнял самоопросник BRIEF-2, и проходил методику UNIT. Блок поведенческой части занимал не более 2 часов.

Процедура сбора нейрофизиологических данных начиналась со знакомства участника с протоколом исследования. Кратко были рассказаны цели и задачи этого этапа исследования. Для оптимизации процедуры записи объем головы участника для подбора шапочки измерялся заранее, и

электродная шапочка готовилась до начала исследования. Проведение психофизиологической части осуществлялось в изолированном помещении. Процесс подключения электродов занимал от 30 до 60 минут и осуществлялся путем нанесения на кожу головы электролитного геля, для увеличения проводимости и снижения сопротивления. После установки электродов участника просили отключить мобильные устройства или перевести их в режим полета, а также совершать как можно меньше движений. Блок психофизиологической части занимал около 2 часов.

РИС 1. Структура исследования



В исследовании была проведена оценка психофизиологических показателей печати на компьютере и их соотношение с показателями исполнительных функций.

2.1. Поведенческие методы

2.1.1. Исследование исполнительных функций. BRIEF–2

Поскольку основной гипотезой исследования является взаимосвязь между исполнительными функциями и процессом печати, важным фактором является определение уровня развития исполнительных функций.

Для достижения наибольшей достоверности были выбраны две методики. Уровень развития исполнительных функций респондента оценивался с помощью самоопросника «Краткая шкала исполнительных функций» (BRIEF, Behavior Rating Inventory of Executive Function) (BRIEF; Gioia, Isquith, Guy, & Kenworthy, 2000) и универсального невербального теста интеллекта (UNIT, Universal Nonverbal Intelligence Test, Second Edition, Bruce A. Bracken, R. Steve McCallum, 2016).

В настоящий момент существует большое количество исследований, направленных на изучение исполнительных функций, поскольку они играют важную роль в эмоциональном, когнитивном и поведенческом развитии. Одним из широко используемых опросников для исследования исполнительных функций является методика «BRIEF». Данный опросник используется в школах и медицинских учреждениях, а также в различных исследованиях с участием детей, подростков и взрослых (Roth et al., 2015). «BRIEF» применяется как для исследования лиц без поведенческих трудностей, так и для лиц с нарушениями развития, соматическими болезнями, неврологическими и психическими расстройствами. В рамках настоящего исследования нами была использована форма самоотчета (BRIEF-2: Gioia et al., 2009).

Структура BRIEF-2 основана на теории иерархической организации исполнительных функций (Baddeley, 2012). Согласно данной теории, управление комплексным поведением основывается на регуляции базовых процессов. Именно поэтому модель BRIEF-2 может рассматриваться как иерархическая структура, в которой шкалы формируют индексы более высокого порядка. Второе издание методики (форма само опросника) включает в себя семь шкал: Торможение, Саморегуляция, Переключение, Эмоциональный контроль, Рабочая память, Планирование/Организованность, Мониторинг задач (Inhibit, Self-Monitor,

Shift, Emotional Control, Working Memory, Plan/Organize, Task–Monitor). Данные шкалы организуются в три комплексных индекса, отражающих исполнительные функции: «Индекс регуляции поведения», «Индекс распознавания эмоций», «Индекс когнитивной регуляции» («Behavior Regulation Index», «Emotional Recognition Index» and «Cognitive Regulation Index»). Их совокупность иллюстрирует «Общий показатель исполнительных функций» (Gioia et al., 2015).

Шкала Торможения оценивает уровень контроля ингибирования, т.е. способности осознанно не реагировать на стимулы. Также эта шкала включает в себя способность к остановке собственным действиям в определенное время. Шкала Саморегуляции оценивает вклад влияния поведения индивида на окружающих людей и явления. Саморегуляция представлена как способность наблюдать и оценивать собственное поведение, оценивать собственные слабые и сильные стороны и эффективность в решении проблем. Шкала Переключение измеряет способность к гибкости при решении проблем, переключению внимания и смене фокуса. Шкала Эмоциональной регуляции измеряет Шкала Эмоциональной регуляции оценивает контроль над изменениями настроения, импульсивность, лабильность эмоционального состояния, а также фиксирует частоту чрезмерных реакций на ситуативные раздражители. Шкала Мониторинг задач оценивает успех в решении проблем и выполнении задач. Шкала Рабочей памяти оценивает способность к регуляции мыслительного процесса, на примере отслеживания задач, а также способность к поддержанию концентрации внимания. Шкала Планирования/Организации связана со способностью предвидеть будущие события и упорядочивать информацию. Индекс регуляции поведения – представляет способность к эффективному мониторингу и регуляции поведения. Индекс эмоциональной регуляции

отражает эффективность мониторинга и регуляции эмоционального состояния. Соответственно, Индекс когнитивной регуляции оценивает эффективную регуляцию когнитивных процессов. Глобальный индекс исполнительных функций иллюстрирует общий показатель трудностей с исполнительными функциями.

Несмотря на то, что BRIEF-2 демонстрирует высокую диагностическую валидность, некоторые исследования указывают на рассогласованность между результатами методики и поведенческими тестами (Toplak et al., 2009). Согласно литературе, исполнительные функции можно разделить на «Холодные» и «Горячие». К «Холодным» можно отнести когнитивную часть исполнительных функций, то есть, рабочую память, исполнительный контроль и организационные навыки. Тогда как к «горячим» можно отнести способности эмоциональной регуляции (Śmigasiewicz et al., 2020). Исследователи предполагают, что разные проявления ИФ лучше оценивать различными методами, поскольку лабораторные тесты могут быть нечувствительны к некоторым сегментам, к которым чувствителен BRIEF-2, и наоборот. В связи с этим, была выбрана еще одна методика, измеряющая исполнительные функции.

2.1.2. Исследование исполнительных функций. UNIT

Также, для определения уровня развития рабочей памяти, пространственного и абстрактного мышления и интеллекта нами был выбран универсальный невербальный тест интеллекта UNIT (Universal Nonverbal Intelligence Test, Second Edition, Bruce A. Bracken, R. Steve McCallum, 2016).

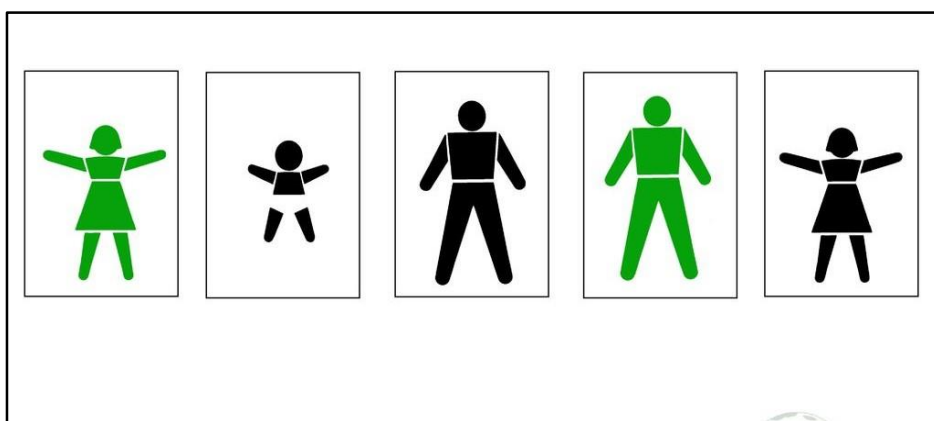
Методика имеет иерархическую структуру. Участник выполняет шесть субтестов, каждый из которых направлен на определенную когнитивную способность: символическая, пространственная и рабочая

память, символический и несимволический счет и мышление по аналогии. Эти субтесты формируют три домена: память (Memory), количественное мышление (Quantitative) и способность к рассуждению (Reasoning). Все шкалы суммарно оценивают показатель интеллекта участника. Следует отметить, что в данной методике также присутствует краткая шкала интеллекта, которая вычисляется по субтестам несимволического счета и аналогий. Остановимся чуть подробнее на каждом из субтестов.

Символическая память.

В субтесте «Символическая память» используется последовательность из универсальных символов («ребёнок», «девочка», «мальчик», «женщина» и «мужчина») двух цветов (зеленый и черный). Участникам (8 – 21 лет) предъявляется последовательность фигур на протяжении 5 секунд, после чего демонстрация прекращается. Участникам необходимо воспроизвести последовательность фигур с помощью карточек для ответа.

РИС 2. Пример стимульного материала субтеста «Символическая память» методики UNIT



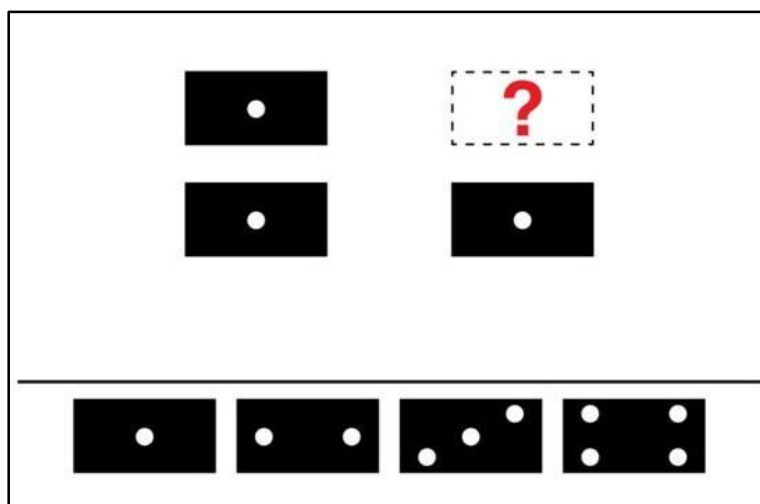
Задание оценивает способность обращать внимание на детали и отличать важную информацию от незначительной; систематизировать и запоминать сложную информацию; способность содержательно

упорядочивать информацию; способность понимать и решать многоэтапные математические задачи; игнорировать постороннюю, конкурирующую информацию во время решения задач. Можно предположить, что задание оценивает рабочую память.

Несимволический счет.

В субтесте «Несимволическая память» используется набор черно-белых домино с разными числовыми значениями, создающими числовую последовательность, тождество, аналогию или математическую проблему. Участнику необходимо выбрать из представленных вариантов тот, который лучшим образом подходит для решения задачи.

РИС 3. Пример стимульного материала субтеста «Несимволический счет» методики UNIT



Задание оценивает способность понимать и решать абстрактные задачи с помощью символов; определять взаимосвязи между числами; понимать отношения, представленные числами; способность анализировать и классифицировать числовую (количественную) информацию; обобщать изученные принципы для решения новых задач (например, применять уже изученные правила к новым примерам или типам заданий).

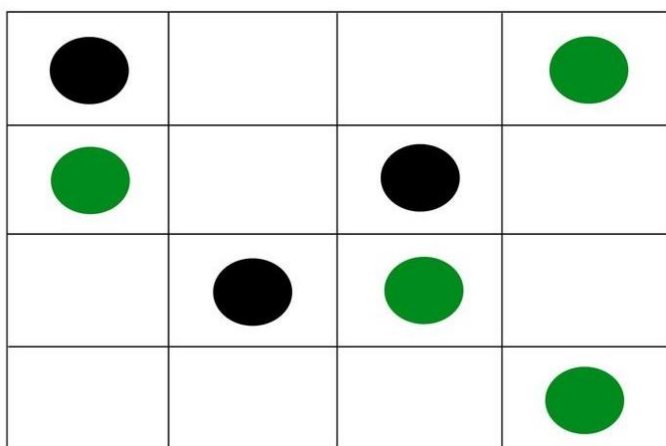
Рассуждение по аналогии.

Каждое из заданий субтеста «Аналогии» представляет собой незавершенную концептуальную или геометрическую аналогию, представленную в виде матрицы. После трех последовательных неверных ответов методика прекращается. Задание оценивает способность понимать и решать практические, ситуативные задачи; определять взаимосвязи между причиной и следствием; приводить рациональные аргументы, основанные на последовательной логике; обобщать усвоенные принципы для решения новых проблем; систематически усваивать и использовать правила.

Пространственная память.

Стимульный материал субтеста представляет собой матрицы (1×2 , 2×2 , 3×3 , или 4×4) со случайно расположенными на ней фишками зеленого и черного цвета. Участник в течении 5 секунд запоминает расположение объектов, чтобы затем воспроизвести его в точности на поле ответов.

РИС 4. Пример стимульного материала субтеста «Пространственная память» методики UNIT



Задание оценивает способность видеть ситуацию в целом; обращать внимание, обрабатывать и запоминать визуальные детали, суть информации, а не последовательность, в которой она была представлена; концентрироваться на проблеме до тех пор, пока проблема не будет понята; а также способность отмечать незначительные изменения в окружающей среде.

Числовые ряды.

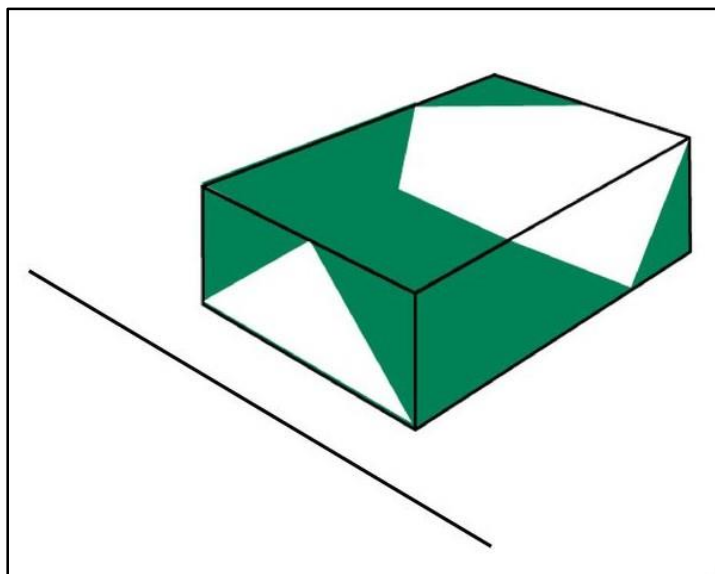
Каждое задание субтеста «Числовые ряды» представляет собой набор чисел или математических символов, из которых можно создать перцептивную пару или продолжить количественный ряд. Задание оценивает способность понимать и решать математические задачи; определять взаимосвязи между числами; понимать отношения, представленные числами; анализировать числовые системы; обобщать изученные принципы для решения новых задач; и систематически использовать изученные правила. В отличие от заданий нечислового счета, этот блок оценивает знание математических правил и умение их применять в новых ситуациях.

Дизайн кубиков.

Стимульный материал субтеста включает в себя 9 двухцветных кубиков, из которых требуется собрать представленные на изображении конструкции. Задание выполняется на время.

Задание оценивает способность разделять проблему на отдельные части и последовательно решать их; упорство при решении сложных задач; реакцию на необходимость выполнить задания в ограниченное время; гибкость в оценке и модификации стратегий решения; а также способность ориентироваться в окружающей среде.

РИС 5. Пример стимульного материала субтестса «Дизайн кубиков» методики UNIT



Данная методика невербальна, поэтому не возникает препятствий в использовании на русской выборке. Методика включает в себя все интересующие нас домены, а также позволяет полно оценить интеллект участника.

2.2. Психофизиологические методы

Для определения психофизиологических паттернов письменной речи был разработан психофизиологический эксперимент в программном пакете Presentation (Neurobehavioral Systems, Inc.). Данная программа отвечает требованиям, необходимым для проведения психофизиологического эксперимента. Она обеспечивает использование любого стимульного материала, обладает возможностью подключения переносной клавиатуры или другого устройства ввода. Свободная среда для написания кода дает возможность для проведения любых манипуляций, необходимых для эксперимента или серии экспериментов.

Регистрация ЭЭГ обеспечивалась с помощью программы BrainVision Recorder (BrainProducts, Inc.) Полное сопротивление по всем отведениям сохранялось ниже 25 кΩ. Установка включала в себя следующее оборудование: ЭЭГ–усилитель actiCHamp (BrainProducts, Inc.) с 128 активными Ag/AgCl электродами; ноутбук с установленным программным пакетом для предъявления стимулов Presentation (Neurobehavioral Systems, Inc.); ноутбук с установленным программным пакетом для записи ЭЭГ–сигналов BrainVision Recorder (BrainProducts, Inc.). Коррекция тайминга меток на записи ЭЭГ с помощью устройства StimTrak (BrainProducts, Inc.) будет проводиться после записи материала.

Также, поскольку при свободной речи прогнозирование печати последующих букв является более когнитивно–сложной задачей, во второй части нашего исследования была рассмотрена взаимосвязь между уровнем развития исполнительных функций и спектральной нагрузкой в процессе печати. Соответственно, для определения полной модели письменной речи, эксперимент состоял из нескольких блоков. Также, для более глубокого понимания принципа работы исполнительных функций, было введено две группы: контрольная и экспериментальная. В контрольной группе участники выполняли задачи без задействования рабочей памяти, а в экспериментальной задания выполнялись с припоминанием. Рассмотрим более подробно каждый из блоков.

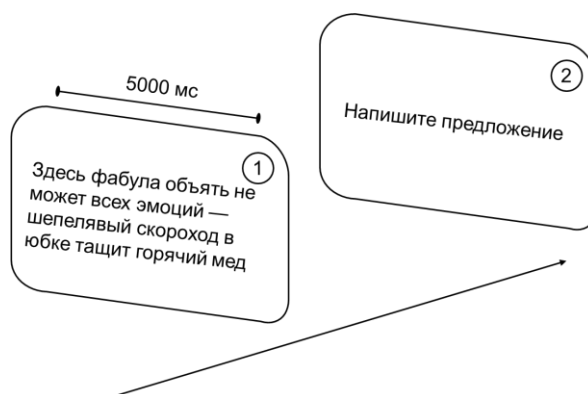
Таблица 1. Описание экспериментального блока психофизиологического эксперимента

Блок	Контрольная группа	Экспериментальная группа
Копирование предложений	Печать по памяти	Печать по памяти
Формулирование предложений	Печать, наблюдая стимульный материал	Печать по памяти

2.2.1. Копирование предложений

Целью первого блока эксперимента было изучить нейрофизиологические процессы в рабочей памяти и исполнительного контроля, участвующие в печати, а также объем рабочей памяти во время печати. Во этом блоке эксперимента было представлено копирование предложений. Нами было использовано 13 предложений, которые включали в себя все буквы алфавита (Приложение А). Предложения насчитывали от 7 до 14 слов разной степени лексической сложности. Предложения были грамматически корректными и семантически бессмысленными. Задачей участника было запомнить максимальное количество слов в предложении за время предъявления (5000 мс), после чего участнику требовалось напечатать максимальное количество запомненных слов.

РИС 6. Схема эксперимента «Копирование предложений»

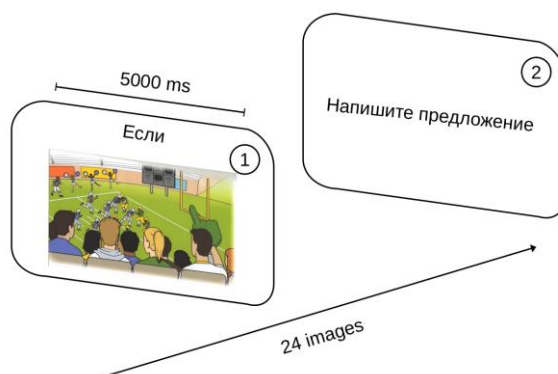


В каждом предложении насчитывалось от 7 до 14 слов, участниками было напечатано 13 предложений.

2.2.2 Формулирование предложений

Вторым блоком данного эксперимента было формулирование предложений. Для контроля экспериментальных условий использовалось 24 изображения из стандартизированного теста Formulated Sentences Examiner's Manual (Clinical Evaluation of Language Fundamentals®–Fifth Edition, CELF®–5; Elisabeth H. Wiig, Eleanor Semel & Wayne A. Secord, 2013). Респонденту предъявлялось изображение с написанным над ним словом. Задачей респондента было описать ситуацию по картинке, используя данное слово. В различных группах варьировалось условие процесса печати в эксперименте. Контрольная группа респондентов печатала предложения, наблюдая изображение, экспериментальная – сначала запоминала изображение и слово на протяжении 5 секунд, а затем печатала его. Эксперимент направлен на изучение свободной речи респондента. А также на выявление психофизиологических закономерностей рабочей памяти.

РИС 7. Схема эксперимента «Формулирование предложений»



Для определения ведущей руки респондента был использован опросник Оценка превалирующей в использовании руки (Oldfield, 1971).

В связи с пандемией коронавирусной инфекции, в протоколе подготовки и проведения ЭЭГ–исследования, были учтены факторы, которые обеспечат должный уровень безопасности (например, наличие защитных костюмов, масок, перчаток и минимизация контакта с участником эксперимента). Изменения вносились согласно разработанному протоколу снижения риска распространения COVID–19 (Protocol for reducing COVID–19 transmission risk in EEG research Aaron M. Simmons and Steven J. Luck Center for Mind & Brain, University of California Davis).

2.2.3. Предварительная обработка данных.

Данные предварительно обрабатывались в программе Brain Vision Analyser (BrainProducts, Inc.) Частота дискретизации была снижена до 500 Гц, данные были отфильтрованы (нижняя частота 0.1 Гц, верхняя 70 Гц). Качество записи каналов было предварительно проверено с помощью автоматической программной обработки, и в случае, если более 30% записанных данных на канале были зашумлены (демонстрировали артефакты), канал удалялся. После автоматической проверки проводился повторный контроль каналов – каждая запись отсматривалась вручную. Каналы, которые демонстрировали наличие артефактов, более чем в 30% записи, но не были автоматически определены, также удалялись. Следующим шагом из данных удалялась глазодвигательная активность с помощью алгоритма ICA (Independent Component Analysis) – Анализ независимых компонент. Компоненты горизонтальных движений глаз (движений глаз вправо и влево) вычислялись путем анализа данных с электродов FT9 и FT10, компоненты вертикальных движений глаз (моргания) вычислялись с электрода Fp1 или электрода Fp2. В случае, если данные с обоих электродов были неудовлетворительны, в качестве

референтного электрода демонстрировал наиболее ярко выраженные вертикальные движения глаз (например, AF8). Также к данным применялся шаг смены референтного электрода. В качестве референтного электрода рассматривалось усредненное значение всех записанных электродов. После данного шага вновь проводилась автоматизированная проверка зашумленности записей ЭЭГ каналов. В случае, если обнаруживались электроды, которые демонстрировали зашумленность более чем на 15% – процесс предобработки повторялся с шага удаления электродов. В противном случае все удаленные электроды были восстановлены с помощью топографической интерполяции. Дальнейшая обработка записи проводилась автоматически для всего набора данных и включала в себя следующие шаги. Предварительно записи были сегментированы согласно условиям, в зависимости от типа парадигмы. Для парадигм, которые предусматривали спектральный анализ, сегменты были разделены на фрагменты по 4 секунды с перекрытием в 50%. После этого было проведено удаление сегментов, которые содержат артефакты, с размахом амплитуды в ± 110 мВ. После было проведено удаление трендов на промежутке 2–4000 мс, и сегменты были усреднены по типу стимула с расчетом стандартного отклонения. После окончания предварительной обработки был проведен фурье-анализ, с разделением на следующие спектральные диапазоны: дельта (1.5–6 Гц), тета (6.5–8 Гц), альфа-1 (8.5–10 Гц), альфа-2: (10.5–12 Гц), бета-1 (12.5–18 Гц), бета-2 (18.5–21 Гц), бета-3 (21.5–30 Гц), гамма (30–44 Гц) (Niedermeyer and Lopes da Silva, 2005 p. 1234).

2.3. Математико-статистические методы обработки данных.

Вся математическо-статистическая обработка данных осуществлялась с помощью программного обеспечения R-Studio (версия 4.1.1). В анализе использовались следующие библиотеки: car, ggplot2,

tidyverse, psych, dplyr, data.table, Hmisc, GGally, lme4, lmerTest. Для анализа полученных результатов были использованы следующие методы:

1. Критерий Шапиро-Уилкса для определения нормальности распределения переменных;
2. Критерий χ^2 Пирсона для определения гомогенности выборки по полу и возрасту;
3. Критерий t-Стьюдента для сравнения шкалированных показателей исполнительных функций между группами;
4. Однофакторной дисперсионный анализ (ANOVA) для сравнения уровня интеллектуального развития между группами;
5. Корреляционный анализ для определения взаимосвязи между шкалированными показателями методик и поведенческих показателей печати;
6. Линейный регрессионный анализ (LMM, Linear mixed model) для построения регрессионных моделей нейрональной активности в зависимости от уровня развития исполнительных функций;
7. Многофакторный дисперсионный анализ (MANOVA) с повторными измерениями для определения вклада уровня развития исполнительных функций в поведенческие показатели при печати;
8. Двухфакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с повторными измерениями для сравнения нейрональных показателей в двух экспериментах между группами.

Глава 3. Результаты и Обсуждение

3.1. Результаты поведенческих методик

Участники продемонстрировали нормальное распределение по показателям интеллекта ($M(SD) = 109,73 (9,24)$), тем не менее, выборка демонстрирует тенденцию к более высоким результатам по сравнению с нормотипичным срезом. Также из участников были в случайном порядке сформированы контрольная (23 участника (14 ж), $M(SD) = 18.43(0.73)$, IQ: $M(SD) = 107.04 (9,86)$) и экспериментальная группы (26 участника (16 ж), $M(SD) = 18.92(0.69)$, IQ: $M(SD) = 112.40 (7.46)$), отличающиеся по типу эксперимента. Статистически значимых различий по возрасту ($\chi^2 (3) = 6.35$, $p > 0.05$) и полу ($\chi^2 (13) = 12.874$, $p > 0.05$) между группами не наблюдается. По результатам однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) различий по интеллектуальному развитию между участниками обнаружено не было ($F (1,47) = 0.45$, $p > 0.05$).

Предварительно все полученные баллы по методикам UNIT и BRIEF были проверены на нормальность и гомогенность. В результате анализа только шкалы Мониторинга и Общий Эмоциональный индекс не прошли проверку на нормальность, но поскольку данные шкалы не используются в анализе, но дальнейший анализ правомерен.

Тест Шапиро–Уилкса показал нормальное распределение в методике UNIT по шкалам Памяти ($W = 0.97$, $p = 0.17$), Мышления ($W = 0.98$, $p = 0.40$) и интеллекта (0.96 , $p = 0.06$). Также по методике BRIEF интересующие нас шкалы Рабочая память ($W = 0.98$, $p = 0.38$), Торможение ($W = 0.97$, $p = 0.25$), Переключение ($W = 0.98$, $p = 0.55$) и Выполнение задач ($W = 0.97$, $p\text{-value} = 0.31$) продемонстрировали нормальность распределения.

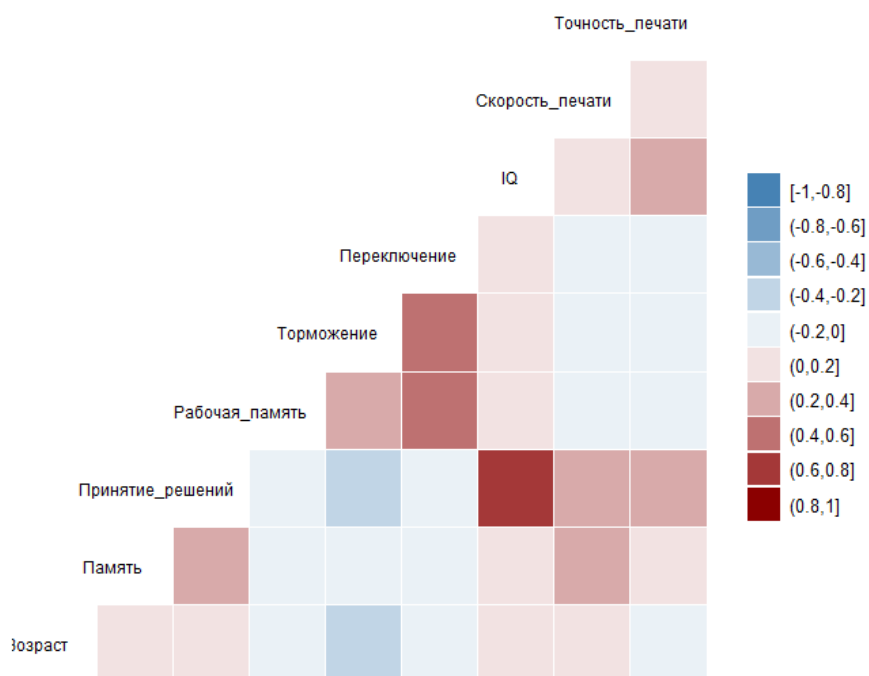
Данные результаты могут говорить о том, что выборка достаточно равномерно распределена по возрасту, интеллекту и результатам методик на исполнительные функции. Что позволяет нам сделать вывод о том, что полученные в дальнейшем анализе можно использовать показатели сравнения средних и дисперсии, а также, что данная выборка является репрезентативной. Поскольку тест Стьюдента не продемонстрировал статистически значимых различий средних по группам, можно предполагать, что полученные группы гомогенны по данным показателям, что потребуется нам для дальнейшего анализа.

3.1.1. Результаты корреляционного анализа поведенческих методик

Все переменные были предварительно проверены на нормальность и прошкалированы. Все интересующие нас переменные были нормально распределены. Результаты поведенческого анализа продемонстрировали следующие корреляции. Между индексами принятия решения и показателем интеллекта ($r=0.67$, $p < 0.01$) наблюдается высокая корреляция. В данном исследовании мы не фокусируемся на процессах принятия решения, поэтому данная переменная в качестве независимой в анализ включена не была. Также наблюдаются средние корреляции между процессами переключения и торможения ($r=0.48$, $p < 0.01$), и переключением и рабочей памятью ($r=0.57$, $p<0.01$), которые нами рассматриваются как индикаторы исполнительного контроля и рабочей памяти соответственно. Полученные результаты иллюстрируют высокую корреляцию по интересующим нас показателям внутри методик, тогда как между методиками этой тенденции не наблюдается. Соответственно, можно предполагать, что данные методики покрывают различные домены исполнительных функций. Так, например, у респондента визуальная модальность рабочей памяти развита гораздо лучше, чем

пространственная (Chai et al., 2018), и поэтому в литературе рекомендуется давать несколько методик на исполнительные функции, чтобы обеспечить более полный охват (Baggetta & Alexander, 2016).

РИС 8. Результаты корреляционного анализа методик UNIT и BRIEF и поведенческими показателями печати.



На данном графике отображена сила корреляции между субтестами, иллюстрирующими показатели развития исполнительных функций по различным методикам и поведенческими показателями печати. Сила корреляции определяется цветовой дифференциацией, от темно-бордового (сильная) до темно синего (слабая).

Также можно отметить различия по результатам самоопросника и методики реальных достижений. Важным выводом на основе полученных результатов будет являться то, что в последующие модели необходимо будет включать несколько шкалированных индексов, с поправкой на респондента, поскольку это даст более высокую точность при построении модели (Приложение 6).

3.1.2 Результаты поведенческих показателей в процессе печати на компьютере

Для анализа поведенческих результатов ЭЭГ эксперимента, были использованы следующие показатели: Количество слов в оригинальном предложении, Количество слов написанном предложении, Количество верно написанных слов, Количество неверно написанных слов, Количество слов с ошибкой, Количество слов на своем месте, Количество исправлений (нажатий клавиши Backspace). Предварительно нами был проведен многофакторный дисперсионный анализ (MANOVA) с повторными измерениями. В качестве зависимых переменных выступали переменные «Количество напечатанных слов», «Количество верно напечатанных слов», в качестве независимых переменных использовались показатели Индекс Памяти по методике UNIT, Индексы Торможения, Рабочей памяти и Переключения по методике BRIEF-2, в качестве поправки на ошибку был использован ID участника. По результатам поведенческого анализа ЭЭГ эксперимента можно говорить о следующих результатах: был получен статистически значимый вклад независимой переменной Индекс Торможения в Количество напечатанных слов ($F(1) = 20.33, p < 0.01, \eta^2 = 0.03$ [CI: 001–1]) и Количество верно напечатанных слов ($F(1) = 12.12, p < 0.01, \eta^2 = 0.02$ [CI: 001–1]) (РИС 5). Количество верно напечатанных слов увеличивается с возрастанием Индекса Торможения.

Согласно теории торможения, выдвинутой Логаном и Крапом (2011), в процессе печати ингибирующие (тормозящие) процессы проявляются в момент печати каждой следующей буквы, поскольку «тормозят» печать всех вариантов последующих букв (Pinet et. al., 2015). Соответственно,

можно предположить, что, чем более активны данные процессы, тем выше точность напечатанного, поскольку процессы торможения успешно справляются с поставленной задачей. Исходя из этого предположения, мы можем говорить о том, что полученные нами результаты иллюстрируют факт, что чем выше развит навык торможения у респондента, тем выше точность написанного. Отдельно необходимо отметить, что все предъявляемые предложения для участников были идентичны – то есть, сложность задачи была одинакова, и, следовательно, показатель точности был достаточно индивидуален.

3.2. Результаты анализа ЭЭГ данных

3.2.1. Результаты анализа ЭЭГ данных в процессе припоминания предложений

В анализе использовались данные с центральных электродов C1, C2, C3, C4, Cz, FC1, FC2, FC3, FC4, FCz, Fz, поскольку, согласно литературе, данные электроды наиболее иллюстративны для детекции нейрональной активности исполнительных функций. Спектральные показатели, превышающие 50 мкВ^2 исключены из анализа. Далее из выборки были удалены значения, превышающие 2 стандартных отклонения по интересующим поведенческим индексам (Индекс Памяти по методике UNIT, Индексы Торможения, Рабочей памяти и Переключения по методике BRIEF-2). В дальнейший регрессионный анализ были включены только те показатели, которые продемонстрировали корреляцию выше 40%. По оставшемуся массиву данных были построены многомерные регрессионные модели LMM (Linear mixed model) с повторяющимися измерениями. В качестве зависимой переменной рассматривалась спектральная мощность, в качестве независимых переменных рассматривались вышеупомянутые поведенческие индексы и уровень интеллектуального развития. Нами не было получено значимых

результатов по низкочастотным ритмам. По высокочастотному гамма ритму значимый вклад продемонстрировали взаимодействие переменных Торможение X Переключение X Рабочая память ($F(1)= 5.50, p < 0.05, \eta^2 = 0.31$ [CI: 001–1]) и Торможение X Переключение X Индекс памяти ($F(1)= 5.22, p < 0.05, \eta^2 = 0.38$ [CI: 001–1]). Мы предполагаем, что первая модель отражает функционирование рабочей памяти, а вторая – исполнительного контроля.

Поскольку гамма ритм наблюдается при решении задач, требующих максимального сосредоточенного внимания (Lundqvist et al., 2018), и иллюстрирует баланс тормозных и возбуждающих процессов (Jones, Johnson & Berryhill, 2020), можно предположить, что данные результаты отражают процесс обработки и реализации информации в процессе печати. Поскольку только взаимодействие вышеупомянутых показателей (Торможение, Переключение и Рабочая память по методике BRIEF) демонстрирует значимый вклад в распределение нейрональной активации, можно говорить именно о комплексе процессов, отражающих уровень когнитивной нагрузки в процессе печати. Важно отметить, что эти показатели демонстрируют именно процесс обработки и реализации информации. Тогда как процессы припоминания предложения скорее отображены во второй модели. Тем не менее, величина эффекта полученных моделей достаточно мала, в связи с этим взаимодействие переменных можно ставить под сомнение (Приложение 7).

Поскольку гамма ритм по частоте может совпадать с мышечными артефактами, была проведена предварительная предобработка ЭЭГ данных в программе BVA (Brain Vision Analyser (BrainProducts, Inc.)), и предварительно, перед анализом, были удалены артефакты в том числе, связанные с мышечной нагрузкой. Исходя из этого, можно сделать

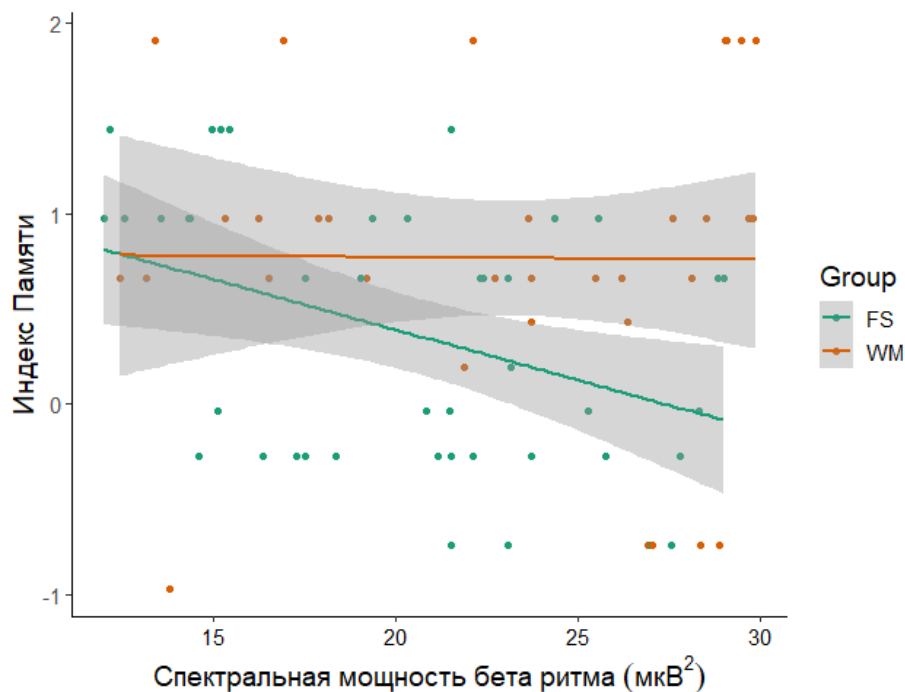
предположение, что в моделях отражены процессы припоминания и реализации сложной вербальной информации.

3.2.2. Результаты анализа ЭЭГ данных в процессе свободной печати по картинке

Предварительно из всего набора ЭЭГ данных нами были отобраны только данные, которые попадают в тета, альфа, бета или гамма диапазоны. Спектральные показатели, превышающие 50 мкВ² исключены из анализа. Далее из выборки были удалены значения, превышающие 2 стандартных отклонения по интересующим поведенческим индексам (Индекс Памяти по методике UNIT, Индексы Торможения, Рабочей памяти и Переключения по методике BRIEF-2). В дальнейший регрессионный анализ были включены только те показатели, которые продемонстрировали корреляцию выше 40%. По оставшемуся массиву данных были построены линейные регрессионные модели LMM (Linear mixed model) модели с повторяющимися измерениями. В качестве зависимой переменной рассматривалась спектральная мощность, в качестве независимых переменных рассматривались группы, а также вышеупомянутые поведенческие индексы и уровень интеллектуального развития. Нами не было получено значимых результатов по низкочастотным ритмам. По высокочастотному бета ритму значимый вклад продемонстрировала переменная Группы ($F(1)= 5.18, p < 0.05, \eta^2 = 0.09$ [CI: 001-1]). Согласно *posthoc* критерию Тьюки группе, которая печатала по картинке по памяти наблюдалась более высокая бета-активность ($p < 0.05$). Также переменная Индекс Памяти по методике UNIT продемонстрировала вклад на уровне значимости ($F(1)= 3.69, p < 0.06, \eta^2 = 0.07$ [CI: 001-1], РИС 10). Взаимодействие переменных Рабочая память и Индекс Памяти ($F(1)= 6.67, p < 0.05, \eta^2 = 0.11$ [CI: 001-1]), Группа и Переключение ($F(1)= 3.61, p < 0.06, \eta^2 = 0.06$ [CI: 001-1], РИС 14), Группа и Торможение ($F(1)= 4.90, p <$

0.05, $\eta^2 = 0.08$ [CI: 001–1], РИС 13), а также Рабочая память, Индекс Памяти и Торможение ($F(1) = 7.57$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.12$ [CI: 001–1], РИС 13) продемонстрировали статистически значимых вклад в мощность спектральной активности в бета ритме.

РИС 9. Распределение Индекса Памяти, UNIT по группам в зависимости от спектральной мощности бета ритма.

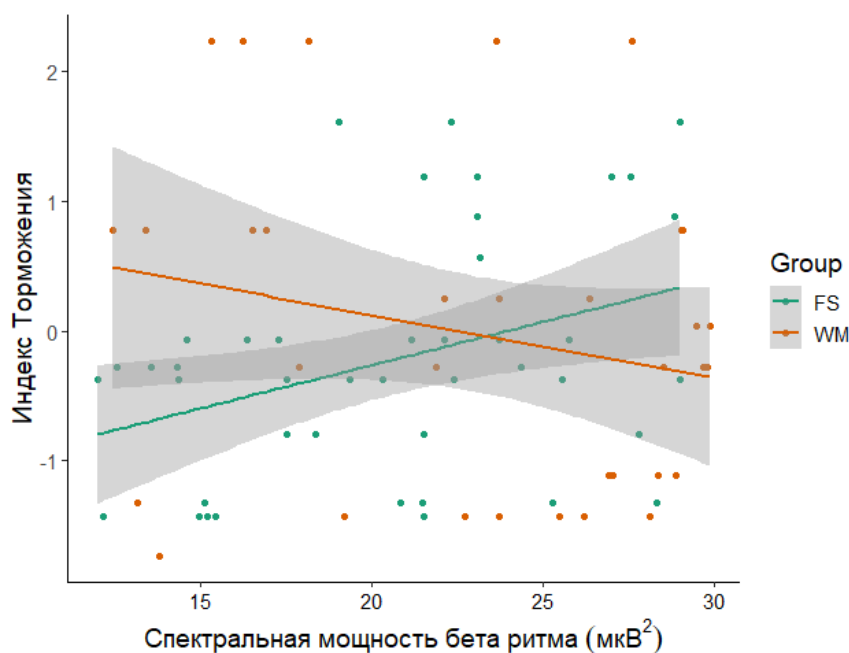


Различия дисперсий индекса Памяти, UNIT по бета ритму между группами ($F(1) = 3.69$, $p < 0.06$, $\eta^2 = 0.07$ [CI: 001–1]). FS – контрольная, WM – экспериментальная.

Поскольку предварительно было определено, что статистически значимых различий между группами по показателю Индекс Памяти, то различия дисперсий в бета ритме могут демонстрировать уровень когнитивной сложности между заданиями. Задача на формулирование предложений отражает способность грамматически и синтаксически корректно формулировать сложные предложения. В экспериментальной группе участники продемонстрировали равномерную когнитивную нагрузку в бета ритме, поскольку каждому из них необходимо было припоминать изображение и удерживать в памяти слово в процессе

сложной, неавтоматизированной деятельности. Тогда как в контрольной группе, задачей которой было сформулировать по картинке без необходимости припоминания, наблюдается обратно пропорциональная зависимость между силой когнитивной нагрузки в бета ритме и Индексом Памяти (Chai et al., 2018). Соответственно, это служит прямой иллюстрацией вклада памяти в процесс формулирования предложения: увеличение бета-ритмики в префронтальных и фронтальных областях.

РИС 10. Индекса Торможения, BRIEF по группам в зависимости от спектральной мощности бета ритма.

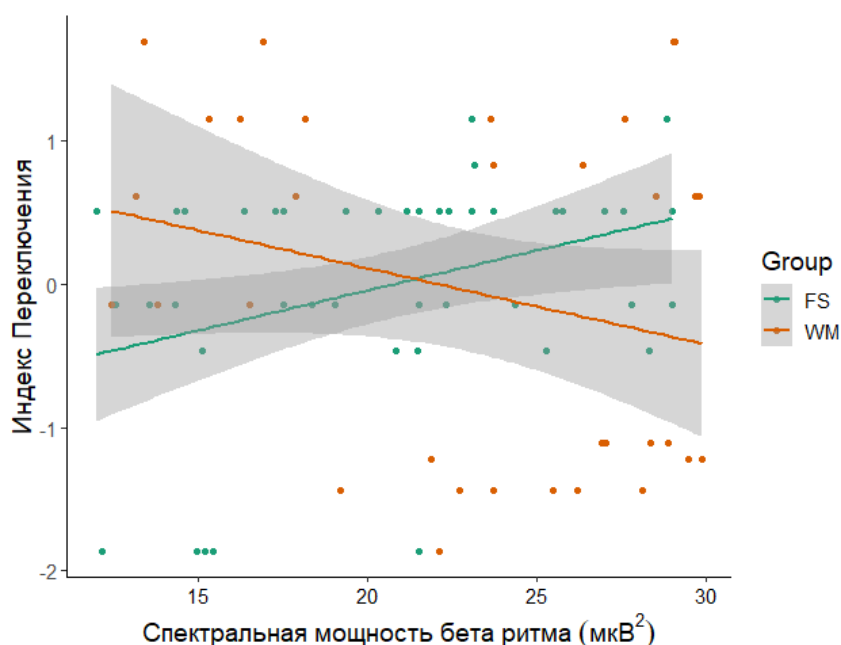


Различия дисперсий по Индексу Торможения, BRIEF между группами в зависимости от спектральной мощности бета ритма ($F(1)= 4.90$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.08$ [CI: 001–1]) FS – контрольная, WM – экспериментальная.

Касательно показателя Торможения (РИС 10), результаты оказались не так однозначны. Последние исследования демонстрировали, что при активации моторной памяти (в данном случае, автоматизированность процесса печати может быть рассмотрена как моторная память), рост торможения в префронтальной области сопровождалась повышением бета ритма (Tempel, Frings & Pastötter, 2020). В данном исследовании данную

тенденцию иллюстрирует контрольная группа. То есть, процесс формулирования предложения по картинке отражает общую тенденцию моторной памяти. Тогда в экспериментальной группе можно наблюдать обратную ситуацию: со снижением показателя торможения наблюдается повышение активации в бета ритме. Это может быть обусловлено тем, что моторной памяти недостаточно для реализации печати по припоминаемому изображению – соответственно, к формулированию предложения добавляется дополнительная когнитивная нагрузка, и, как следствие, у участников, с менее развитой способностью к торможению, повышается бета активность. Так как этим участникам необходимо предпринимать больше усилий для реализации тормозных процессов.

РИС 11. Индекса Переключения, BRIEF по группам в зависимости от спектральной мощности бета ритма.

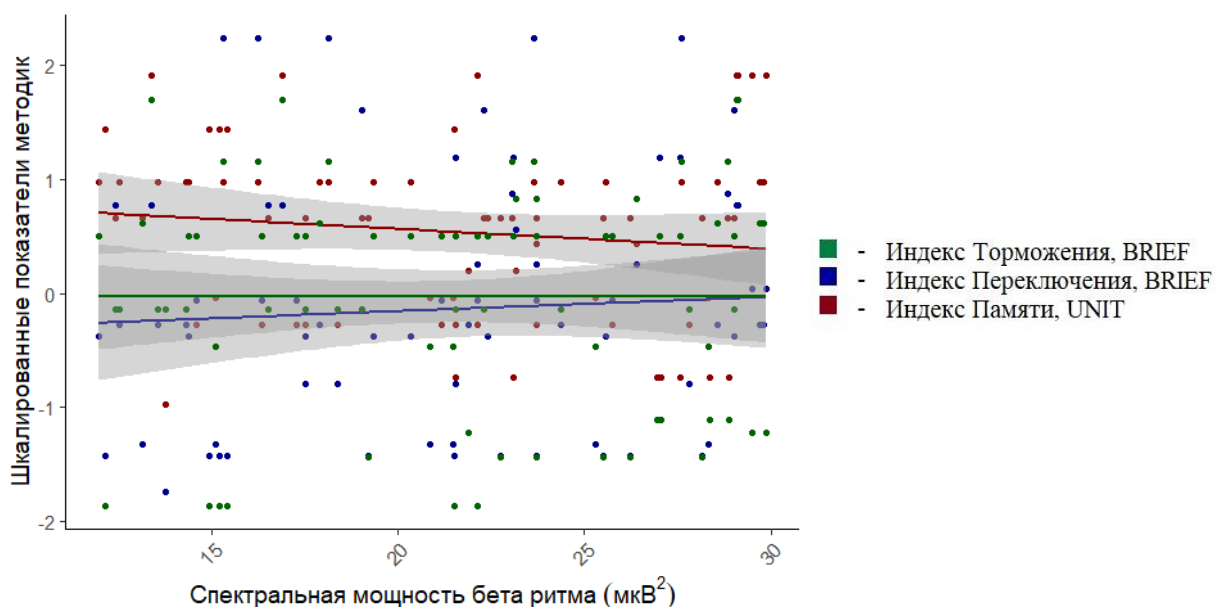


Различия дисперсий Индекса Переключения, BRIEF между группами в зависимости от спектральной мощности бета ритма ($F(1) = 3.61$, $p < 0.06$, $\eta^2 = 0.06$ [CI: 001–1]). FS – контрольная, WM – экспериментальная.

По результатам данного исследования в контрольной группе (РИС. 11), задача в которой не требовала задействования способности к

переключению внимания, бета активность увеличивалась с увеличением самого показателя Переключения. Соответственно, можно предполагать, что процесс удержания внимания на задаче для участников с высоким переключением, требовал более высокой когнитивной нагрузки (Richter et al., 2019). Тогда как в задаче, в которой требовалось переключение внимания с формулирования предложения на припоминание картинки, участники с более высокими показателями по Переключению, демонстрировали меньшую активацию бета ритмики. Эти результаты косвенным образом могут говорить о том, что в задаче на формулирование предложения по картинке задействованы процессы переключения. Соответственно, чем выше данная способность у участника, тем проще ему выполнять задачу.

РИС 12. Спектральная мощность бета ритма в зависимости от Индексов Исполнительных функций



Вклад шкалированных индексов исполнительных функций в регрессионную модель нейрональной активности в процессе формулирования предложений ($F(1)= 7.57, p < 0.01, \eta^2 = 0.12$ [CI: 001–1])

Для обеих групп также наблюдается значимый вклад трех индексов

исполнительных функций (Торможения, Переключения и Индекса Памяти). В данном эксперименте, поскольку у двух групп общей задачей было сформулировать предложение, можно сделать допущение, что данная модель иллюстрирует процесс формулировки предложения, вне зависимости от дополнительных задач. Исходя из вышесказанного, где было показано, что в формулирование предложений большой вклад вносят процессы переключения и торможения, а также в котором активно задействована память, можно предположить, что данная модель отражает сам процесс.

Резюмируя все вышесказанное, в процессе формулировки предложения, когнитивная нагрузка, выраженная в бета ритме, тем ниже, чем выше уровень развития переключения и торможения.

3.2.3. Групповые различия между экспериментами по припоминанию предложений и формулированию предложений

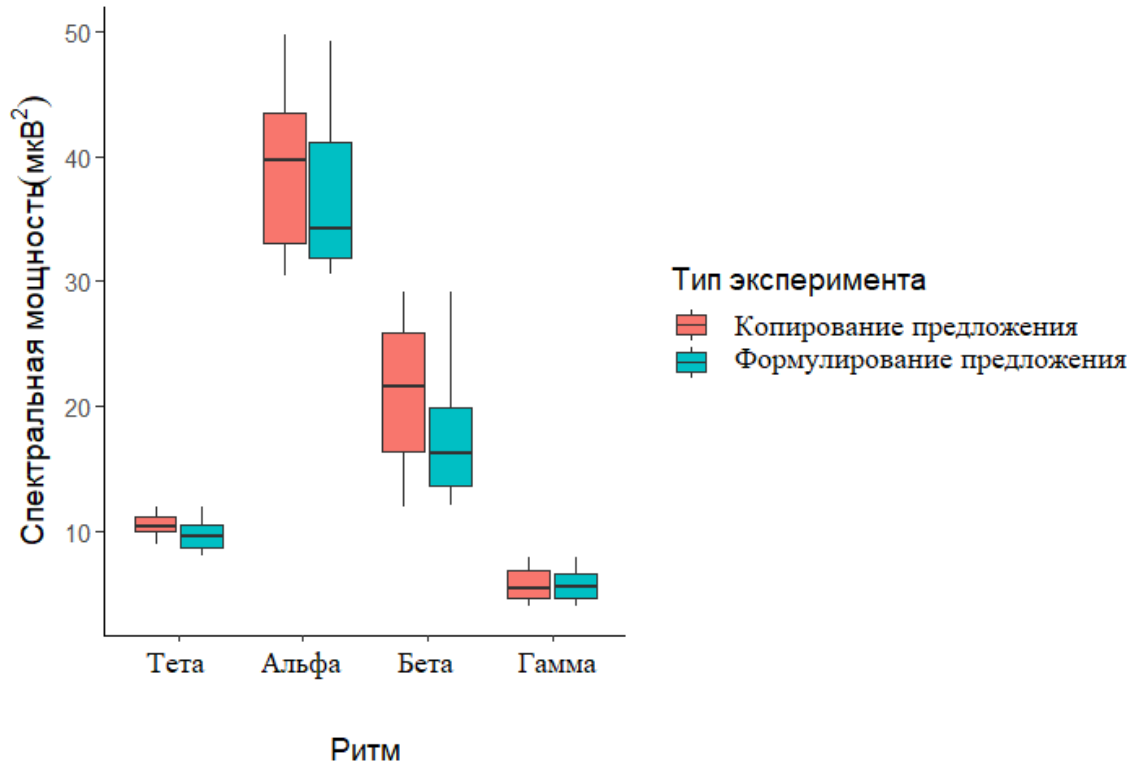
Дальнейший анализ был направлен на определение групповых отличий между двумя экспериментальными условиями: печати текста по памяти и печати предложения по картинке. Мы предполагали, что спектральные мощности высокочастотных ритмов в группе, в которой участники печатали предложения по картинке будут значимо выше, при этом, у участников, у которых показано более высокое развитие исполнительских функций, высокочастотные ритмы будут менее выражены. Для проверки данной гипотезы нами был выполнен двухфакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с повторными измерениями. Предварительно показатели спектральной мощности были проверены на нормальность распределения и вычислена гомогенность дисперсий. В качестве зависимой переменной выступала спектральная мощность каждого и ритма. В качестве независимых переменных выступали переменные группа и тип эксперимента. В качестве ковариат

выступали интересующие нас поведенческие индексы (Индекс Памяти по методике UNIT, Индексы Торможения, Рабочей памяти и Переключения по методике BRIEF-2). Результаты анализа продемонстрировали статистически значимые различия между типами эксперимента по тета ритму ($F(1) = 7.21$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.03$ [CI: 0.01–1]). При этом, мощность тета ритма при печати по памяти была ниже ($M(SD) = 9.72(1.12)$), чем при печати предложения по картинке ($M(SD) = 10.59(0.90)$). В бета диапазоне, также были обнаружены значимые отличия между типами экспериментов ($F(1) = 32.55$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.11$ [CI: 0.01–1]). Средняя спектральная мощность бета ритма при печати по картинке ($M(SD) = 21.13 (5.44)$) значимо выше, чем в случае печати по памяти ($M(SD) = 17.53 (4.65)$). При этом, также наблюдались различия по взаимодействию переменных группа и тип эксперимента. Следует отметить, что величина эффекта в этом случае достаточно незначительна ($F(1) = 4.14$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.01$ [CI: 0.01–1]). В гамма диапазоне не было обнаружено значимых различий между типами экспериментов, что соответствует нашей гипотезе. Тем не менее, был обнаружен вклад ковариаты Торможение ($F(1) = 8.24$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.01$ [CI: 0.01–1]). В диапазоне альфа ритма на уровне значимости ($F(1) = 3.41$, $p < 0.07$, $\eta^2 = 0.04$ [CI: 0.00–1]) наблюдаются различия между группами. Данные были преобразованы, все значения выше 2 стандартных отклонений были удалены.

Различия в нейрональной активации между двумя типами заданий продемонстрировали (РИС 13), что в высокочастотном бета ритме уровень нагрузки в задаче на формулирование предложений был значимо выше. То есть, копирование сложных, бессмысленных предложений, которые требуют большой ресурсной нагрузки, согласно теории рабочей памяти (Chai et al., 2018), в меньшей степени активируют бета ритмику,

возникающую в процессе решения сложных задач.

РИС 13. Спектральная мощность в зависимости от типа печати.



Различия в мощностях различных ритмов в зависимости от типа эксперимента. Печать по памяти – печать припоминаемого текста, печать предложения – формулирование предложения.

Процесс формулирования предложений гораздо более сложен с точки зрения когнитивной нагрузки, поскольку задействует не только процесс печати, активацию исполнительных и когнитивных функций, но также процессы внутренней речи. Соответственно, высокочастотные ритмы при этом процессе активируются выше, в сравнении с печатью припоминаемых предложений.

Выводы

Следует отметить основные выводы, которые были сделаны в данной работе:

1. Наблюдается высокая корреляция внутри методик (между субтестами), тогда как между методиками данной тенденции не наблюдается. Можно предположить, что это связано с разнообразием модальностей исполнительных функций, и данные методы исследуют различные модальности данного феномена.

2. У респондентов, у которых лучше развита регуляция процессов торможения, более высокая точность текста, которая отражается в отношении верно напечатанных слов к общему количеству слов.

3. Было обнаружено, что в высокочастотном гамма ритме можно наблюдать две модели работы исполнительных функций. Первая модель включает себя показатели Торможения, Переключения и Рабочей памяти. Можно допустить, что с учетом сложности задачи по припоминаемому тексту, гамма ритм активировался в процессе максимального сосредоточен на обработке информации (Lundqvist et al., 2018). Вторая модель включала в себя показатели Торможения, Переключения и Индекс Памяти. Наше предположение было в том, что данные показатели иллюстрируют модель припоминания информации, то есть, непосредственного извлечения информации из рабочей памяти.

4. Вклад памяти в процесс формулирования предложения может проявляться путем увеличения бета-ритмики в префронтальных и фронтальных областях.

5. В процессах торможения, результаты продемонстрировали общую тенденцию активации моторной памяти в процессе формулирования предложения: увеличение бета ритма в премоторных и префронтальных

областях у респондентов, которые демонстрируют более высокие показатели торможения.

6. Для реализации задачи по формулированию предложения, припоминая информацию, респондентам с более высокими показателями торможения требуется меньше усилий.

7. Процесс удержания внимания на задаче по формулированию предложений для участников с высокой способностью к переключению, демонстрировал более низкую когнитивную нагрузку.

Заключение

Все задачи, поставленные в данном исследовании, были полностью решены. Нами были изучены психофизиологические и поведенческие особенности исполнительных функций в процессе печати и построены модели исполнительных функций, согласно поставленной цели.

Научная значимость полученных результатов отражается в определении психофизиологических паттернов исполнительных функций при печати. Печать является сложным иерархическим процессом, в котором задействованы исполнительные и когнитивные функции. Принципиальная разница между копированием предложений и формулированием новых предложений в процессе печати можно отследить по активации высокочастотных ритмов во фронтальных, префронтальных и моторных областях. Зачастую печать, как процесс, демонстрирует высокую нагрузку в премоторных и моторных областях, только если респондентам дается дополнительная задача на печать (Scaltritti, Alario & Longcamp, 2018). При этом, если речь идет о копировании текста или предложения, то, в связи с тем, что деятельность достаточно автоматизирована, высокочастотная нагрузка наблюдается в меньшей степени (Logan & Crump, 2011). Соответственно, у респондентов, у которых печать автоматизирована (согласно литературе, скорость печати при копировании – выше 150 знаков в минуту, точность – выше 97%), возможно изучать более сложные психические процессы при печати, которые также задействованы в этом процессе. Согласно теории Логана и Крампа (2011) об иерархических процессах при печати, данный инструмент можно использовать в том числе для тренировки исполнительных функций, которые активно вовлечены в процессы печати на всех этапах. Данное исследование продемонстрировало высокий вклад исполнительного контроля, рабочей памяти, процессов торможения и переключения в печать предложений, как в случае

припоминания заданных предложений, так и в ситуации формулирования предложений. Моторный компонент, который задействован в данном иерархическом процессе (моторная память), часто в литературе упоминается в качестве диагностики или при профилактике дегенеративных заболеваний. Данное исследование наглядно проиллюстрировало вклад, который вносит в процесс печати уровень развития различных исполнительных функций, что может говорить, что различные тренажеры, основанные на печати, могут быть использованы для тренировки этих функций. Практический вклад данного исследования может быть отражен в полезности создания печатных тренажеров различного уровня сложности для респондентов, у которых наблюдаются нарушения когнитивных или исполнительных функций. Поскольку печать является распространённой деятельностью, то подобные тренировки могут быть доступны практически любым слоям населения.

Также, поскольку в настоящее время существует социальная проблема трудности обучения печати на компьютере возрастных групп населения, то популяризация информации о том, что данный вид деятельности может быть рассмотрен как профилактика и укрепление когнитивных и исполнительных функций, может повысить мотивацию пожилых людей к обучению.

Другим полярным блоком практической и социальной значимости может быть разработка более совершенных способов печати, на основе полученных результатов. Поскольку в данной работе были показаны взаимосвязь между исполнительными функциями и печатью, то можно предполагать возможность обучения нейросетей на основе полученных психофизиологических данных, что и будет являться дальнейшей задачей автора.

Список используемой литературы

1. Баарс, Б., & Гейдж, Н. (2014). Мозг, познание, разум: введение в когнитивные нейронауки. М.,»БИНОМ Лаборатория знаний.
2. Alves, R. A., Castro, S. L., & Olive, T. (2008). Execution and pauses in writing narratives: Processing time, cognitive effort and typing skill. *International journal of psychology*, 43(6), 969–979. <https://doi.org/10.1080/00207590701398951>
3. Arezzo, J., & Vaughan Jr, H. G. (1980). Intracortical sources and surface topography of the motor potential and somatosensory evoked potential in the monkey. In *progress in brain research* (Vol. 54, pp. 77–83). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)61610-6](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)61610-6)
4. Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory?. *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 417–423. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)61610-6](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)61610-6)
5. Baddeley, A. (2007). *Working memory, thought, and action* (Vol. 45). OuP Oxford.
6. Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual review of psychology*, 63, 1-29.
7. Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1994). Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology*, 8(4), 485.
8. Baggetta, P., & Alexander, P. A. (2016). Conceptualization and operationalization of executive function. *Mind, Brain, and Education*, 10(1), 10–33. <https://doi.org/10.1111/mbe.12100>
9. Bai, O., Mari, Z., Vorbach, S., & Hallett, M. (2005). Asymmetric spatiotemporal patterns of event-related desynchronization preceding voluntary sequential finger movements: a high-resolution EEG study. *Clinical neurophysiology*, 116(5), 1213–1221. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.01.006>

10. Barrouillet, P., and Camos, V. (2007). «The time-based resource-sharing model of working memory,» in *The Cognitive Neuroscience of Working Memory*, ed. N. Osaka (Oxford: Oxford University Press), 59–80. doi: 10.1093/acprof:oso/9780198570394.003.0004
11. Baus, C., Strijkers, K., & Costa, A. (2013). When does word frequency influence written production?. *Frontiers in psychology*, 4, 963. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00963>
12. Berlot, E., Prichard, G., O'Reilly, J., Ejaz, N., & Diedrichsen, J. (2019). Ipsilateral finger representations in the sensorimotor cortex are driven by active movement processes, not passive sensory input. *Journal of neurophysiology*, 121(2), 418–426. <https://doi.org/10.1152/jn.00439.2018>
13. Berninger, V. W., Cartwright, A. C., Yates, C. M., Swanson, H. L., & Abbott, R. D. (1994). Developmental skills related to writing and reading acquisition in the intermediate grades. *Reading and Writing*, 6(2), 161–196. <https://doi.org/10.1007/BF01026911>
14. Bialystok, E., Craik, F. I., & Ryan, J. (2006). Executive control in a modified antisaccade task: Effects of aging and bilingualism. *Journal of experimental psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32(6), 1341.
15. Bolkan, S. S., Stujenske, J. M., Parnaudeau, S., Spellman, T. J., Rauffenbart, C., Abbas, A. I., et al. (2017). Thalamic projections sustain prefrontal activity during working memory maintenance. *Nat. Neurosci.* 20, 987–996. doi: 10.1038/nn.4568
16. Botvinick, M., & Plaut, D. C. (2004). Doing without schema hierarchies: a recurrent connectionist approach to normal and impaired routine sequential action. *Psychological review*, 111(2), 395. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.111.2.395>
17. Bracken, B. A., & McCallum, R. S. (1998). *Universal nonverbal intelligence test*. Chicago, IL, USA:: Riverside Publishing Company.

18. Burle, B., Bonnet, M., Vidal, F., Possamai, C. A., & Hasbroucq, T. (2002). A transcranial magnetic stimulation study of information processing in the motor cortex: relationship between the silent period and the reaction time delay. *Psychophysiology*, 39(2), 207–217. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3920207>
19. Burle, B., Possamai, C. A., Vidal, F., Bonnet, M., & Hasbroucq, T. (2002). Executive control in the Simon effect: an electromyographic and distributional analysis. *Psychological research*, 66(4), 324–336. <https://doi.org/10.1007/s00426-002-0105-6>
20. Burle, B., Van den Wildenberg, W. P., Spieser, L., & Ridderinkhof, K. R. (2016). Preventing (impulsive) errors: Electrophysiological evidence for online inhibitory control over incorrect responses. *Psychophysiology*, 53(7), 1008–1019. <https://doi.org/10.1111/psyp.12647>
21. Çak, H. T., ÇengelKültür, S. E., Gökler, B., Öktem, F., & Taşkıran, C. (2017). The Behavior Rating Inventory of Executive Function and continuous performance test in preschoolers with attention deficit hyperactivity disorder. *Psychiatry Investigation*, 14(3), 260. <https://doi.org/10.4306/pi.2017.14.3.260>
22. Chai, W. J., Abd Hamid, A. I., & Abdullah, J. M. (2018). Working memory from the psychological and neurosciences perspectives: a review. *Frontiers in psychology*, 9, 401.
23. Cheyne, D. O. (2013). MEG studies of sensorimotor rhythms: a review. *Experimental neurology*, 245, 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2012.08.030>
24. Cheyne, D. O., Ferrari, P., & Cheyne, J. A. (2012). Intended actions and unexpected outcomes: automatic and controlled processing in a rapid motor task. *Frontiers in human neuroscience*, 6, 237. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00237>
25. Cohen, A. L., Bayer, U. C., Jaudas, A., & Gollwitzer, P. M. (2008). Self-regulatory strategy and executive control: Implementation intentions

modulate task switching and Simon task performance. *Psychological Research*, 72(1), 12–26.

26. Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working memory? *Prog. Brain Res.* 169, 323–338. doi: 10.1016/S0079–6123(07)00020–9

27. Cowan, N., Elliott, E. M., Saults, J. S., Morey, C. C., Mattox, S., Hismjatullina, A., & Conway, A. R. (2005). On the capacity of attention: Its estimation and its role in working memory and cognitive aptitudes. *Cognitive psychology*, 51(1), 42–100. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2004.12.001>

28. Crump, M. J., & Logan, G. D. (2010). Hierarchical control and skilled typing: Evidence for word-level control over the execution of individual keystrokes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(6), 1369. <https://doi.org/10.1037/a0020696>

29. Dhamala, M., Pagnoni, G., Wiesenfeld, K., Zink, C. F., Martin, M., & Berns, G. S. (2003). Neural correlates of the complexity of rhythmic finger tapping. *Neuroimage*, 20(2), 918–926. [https://doi.org/10.1016/S1053–8119\(03\)00304–5](https://doi.org/10.1016/S1053–8119(03)00304–5)

30. Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64, 135–168.

31. Donner, T. H., Siegel, M., Fries, P., & Engel, A. K. (2009). Buildup of choice-predictive activity in human motor cortex during perceptual decision making. *Current Biology*, 19(18), 1581–1585. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.07.066>

32. Duque, J., Lew, D., Mazzocchio, R., Olivier, E., & Ivry, R. B. (2010). Evidence for two concurrent inhibitory mechanisms during response preparation. *Journal of Neuroscience*, 30(10), 3793–3802. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5722–09.2010>

33. Eagle, D. M., Bari, A., & Robbins, T. W. (2008). The neuropsychopharmacology of action inhibition: cross-species translation of the stop-signal and go/no-go tasks. *Psychopharmacology*, 199(3), 439–456.
34. Friston, K., Moran, R., and Seth, A. K. (2013). Analysing connectivity with granger causality and dynamic causal modelling. *Curr. Opin. Neurobiol.* 23, 172–178. doi: 10.1016/j.conb.2012.11.010
35. García-Marco, E., Morera, Y., Beltrán, D., de Vega, M., Herrera, E., Sedeño, L., ...&García, A. M. (2019). Negation markers inhibit motor routines during typing of manual action verbs. *Cognition*, 182, 286–293. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.10.020>
36. Gioia, G. A., Isquith, P. K., Guy, S. C., & Kenworthy, L. (2000). Test review behavior rating inventory of executive function. *Child Neuropsychology*, 6(3), 235-238.
37. Gioia, G. A., Isquith, P. K., Guy, S. C., & Kenworthy, L. (2009). *Brief*. סייקטק.
38. Gioia, G. A., Isquith, P. K., Guy, S. C., & Kenworthy, L. (2015). *BRIEF: Behavior rating inventory of executive function*. Lutz, FL: Psychological Assessment Resources.
39. Grigorenko, E. L., Mambrino, E., & Preiss, D. D. (2012). *Writing: A mosaic of new perspectives*. Psychology Press.
40. Hamzei, F., Dettmers, C., Rzanny, R., Liepert, J., Büchel, C., & Weiller, C. (2002). Reduction of excitability («inhibition») in the ipsilateral primary motor cortex is mirrored by fMRI signal decreases. *Neuroimage*, 17(1), 490–496. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1077>
41. Heidlmayr, K., Kihlstedt, M., & Isel, F. (2020). A review on the electroencephalography markers of Stroop executive control processes. *Brain and Cognition*, 146, 105637.

42. Jimura, K., Chushak, M. S., Westbrook, A., and Braver, T. S. (2017). Intertemporal decision-making involves prefrontal control mechanisms associated with working memory. *Cereb. Cortex* doi: 10.1093/cercor/bhx015
43. Jones, K. T., Johnson, E. L., & Berryhill, M. E. (2020). Frontoparietal theta-gamma interactions track working memory enhancement with training and tDCS. *Neuroimage*, 211, 116615.
44. Kalfaoğlu, Ç., Stafford, T., & Milne, E. (2018). Frontal theta band oscillations predict error correction and posterror slowing in typing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 44(1), 69. <https://doi.org/10.1037/xhp0000417>
45. Kičić, D., Lioumis, P., Ilmoniemi, R. J., & Nikulin, V. V. (2008). Bilateral changes in excitability of sensorimotor cortices during unilateral movement: combined electroencephalographic and transcranial magnetic stimulation study. *Neuroscience*, 152(4), 1119–1129. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2008.01.043>
46. Kim, C., Kroger, J. K., Calhoun, V. D., and Clark, V. P. (2015). The role of the frontopolar cortex in manipulation of integrated information in working memory. *Neurosci. Lett.* 595, 25–29. doi: 10.1016/j.neulet.2015.03.044
47. Kopp, B., Rist, F., & Mattler, U. W. E. (1996). N200 in the flanker task as a neurobehavioral tool for investigating executive control. *Psychophysiology*, 33(3), 282–294.
48. Krueger, R., Huang, Y., Liu, X., Santander, T., Weimer, W., & Leach, K. (2020, October). Neurological divide: an fMRI study of prose and code writing. In 2020 IEEE/ACM 42nd International Conference on Software Engineering (ICSE) (pp. 678–690). IEEE. <https://doi.org/10.1145/3377811.3380348>
49. Kuanar, S., Athitsos, V., Pradhan, N., Mishra, A., & Rao, K. R. (2018, April). Cognitive analysis of working memory load from EEG, by a deep recurrent neural network. In 2018 IEEE International Conference on Acoustics,

Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 2576–2580).IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ICASSP.2018.8462243>

50. Labruna, L., Lebon, F., Duque, J., Klein, P. A., Cazares, C., & Ivry, R. B. (2014). Generic inhibition of the selected movement and constrained inhibition of nonselected movements during response preparation. *Journal of cognitive neuroscience*, 26(2), 269–278. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00492

51. Lawson, G. M., Hook, C. J., & Farah, M. J. (2018). A meta-analysis of the relationship between socioeconomic status and executive function performance among children. *Developmental science*, 21(2), e12529.

52. Lebedev, M. A., & Nicolelis, M. A. (2017). Brain–machine interfaces: From basic science to neuroprostheses and neurorehabilitation. *Physiological reviews*, 97(2), 767–837. <https://doi.org/10.1152/physrev.00027.2016>

53. Leocani, L., Toro, C., Zhuang, P., Gerloff, C., & Hallett, M. (2001). Event–related desynchronization in reaction time paradigms: a comparison with event–related potentials and corticospinal excitability. *Clinical Neurophysiology*, 112(5), 923–930. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(01\)00530-2](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(01)00530-2)

54. Leuthold, H., Sommer, W., & Ulrich, R. (2004). Preparing for action: inferences from CNV and LRP. *Journal of psychophysiology*, 18(2/3), 77–88. <https://doi.org/10.1027/0269-8803.18.23.77>

55. Logan, G. D., & Crump, M. J. (2009). The left hand doesn't know what the right hand is doing: The disruptive effects of attention to the hands in skilled typewriting. *Psychological Science*, 20(10), 1296–1300. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02442.x>

56. Logan, G. D., & Crump, M. J. (2011). Hierarchical control of cognitive processes: The case for skilled typewriting. In *Psychology of learning and motivation* (Vol. 54, pp. 1–27). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385527-5.00001-2>

57. Logan, G. D., Miller, A. E., & Strayer, D. L. (2011). Electrophysiological evidence for parallel response selection in skilled typists. *Psychological science*, 22(1), 54–56. <https://doi.org/10.1177/0956797610390382>
58. Lundqvist, M., Herman, P., Warden, M. R., Brincat, S. L., & Miller, E. K. (2018). Gamma and beta bursts during working memory readout suggest roles in its volitional control. *Nature communications*, 9(1), 1–12.
59. Lundqvist, M., Herman, P., Warden, M. R., Brincat, S. L., & Miller, E. K. (2018). Gamma and beta bursts during working memory readout suggest roles in its volitional control. *Nature communications*, 9(1), 1-12.
60. Ma, L., Steinberg, J. L., Hasan, K. M., Narayana, P. A., Kramer, L. A., and Moeller, F. G. (2012). Working memory load modulation of parieto–frontal connections: evidence from dynamic causal modeling. *Hum. Brain Mapp.* 33, 1850–1867. doi: 10.1002/hbm.21329
61. McAuley, T., Chen, S., Goos, L., Schachar, R., & Crosbie, J. (2010). Is the behavior rating inventory of executive function more strongly associated with measures of impairment or executive function?. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16(3), 495–505. <https://doi.org/10.1017/S1355617710000093>
62. Meckler, C., Allain, S., Carbonnell, L., Hasbroucq, T., Burle, B., & Vidal, F. (2010). Motor inhibition and response expectancy: A Laplacian ERP study. *Biological psychology*, 85(3), 386–392. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.08.011>
63. Miller, E. K., Lundqvist, M., & Bastos, A. M. (2018). Working Memory 2.0. *Neuron*, 100(2), 463–475. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.09.023>
64. Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, 41(1), 49-100.

65. Moore, A. B., Li, Z., Tyner, C. E., Hu, X., and Crosson, B. (2013). Bilateral basal ganglia activity in verbal working memory. *Brain Lang.* 125, 316–323. doi: 10.1016/j.bandl.2012.05.003
66. Murty, V. P., Sambataro, F., Radulescu, E., Altamura, M., Iudicello, J., Zolnick, B., et al. (2011). Selective updating of working memory content modulates meso–cortico–striatal activity. *Neuroimage* 57, 1264–1272. doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.05.006
67. Nguyen, P., Bui, N., Nguyen, A., Truong, H., Suresh, A., Whitlock, M., ...& Vu, T. (2018, June). Tyth–typing on your teeth: Tongue–teeth localization for human–computer interface. In *Proceedings of the 16th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services* (pp. 269–282). <https://doi.org/10.1145/3210240.3210322>
68. Nirkko, A. C., Ozdoba, C., Redmond, S. M., Bürki, M., Schroth, G., Hess, C. W., & Wiesendanger, M. (2001). Different ipsilateral representations for distal and proximal movements in the sensorimotor cortex: activation and deactivation patterns. *Neuroimage*, 13(5), 825–835. <https://doi.org/10.1006/nimg.2000.0739>
69. Oldfield, R.C. «The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory.» *Neuropsychologia*. 9(1):97–113. 1971
70. Osaka, M., Osaka, N., Kondo, H., Morishita, M., Fukuyama, H., Aso, T., et al. (2003). The neural basis of individual differences in working memory capacity: an fMRI study. *Neuroimage* 18, 789–797. doi: 10.1016/S1053–8119(02)00032–0
71. Perera, H., Shiratuddin, M. F., & Wong, K. W. (2018). Review of EEG–based pattern classification frameworks for dyslexia. *Brain informatics*, 5(2), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s40708–018–0079–9>
72. Pinet, S., & Nozari, N. (2020). Electrophysiological correlates of monitoring in typing with and without visual feedback. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 32(4), 603–620. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01500

73. Pinet, S., Hamamé, C. M., Longcamp, M., Vidal, F., & Alario, F. X. (2015). Response planning in word typing: Evidence for inhibition. *Psychophysiology*, 52(4), 524–531. <https://doi.org/10.1111/psyp.12373>
74. Praamstra, P., & Seiss, E. (2005). The neurophysiology of response competition: Motor cortex activation and inhibition following subliminal response priming. *Journal of cognitive neuroscience*, 17(3), 483–493. <https://doi.org/10.1162/0898929053279513>
75. Qu, X., Mei, Q., Liu, P., & Hickey, T. (2020, October). Using EEG to distinguish between writing and typing for the same cognitive task. In *International Conference on Brain Function Assessment in Learning* (pp. 66–74). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60735-7_7
76. Richter, C. G., Bosman, C. A., Vezoli, J., Schoffelen, J. M., & Fries, P. (2019). Brain rhythms shift and deploy attention. *bioRxiv*, 795567.
77. Rodriguez Merzagora, A. C., Izzetoglu, M., Onaral, B., and Schultheis, M. T. (2014). Verbal working memory impairments following traumatic brain injury: an fNIRS investigation. *Brain Imaging Behav.* 8, 446–459. doi: 10.1007/s11682-013-9258-8
78. Roth, R. M., Erdodi, L. A., McCulloch, L. J., & Isquith, P. K. (2015). Much ado about norming: The behavior rating inventory of executive function. *Child Neuropsychology*, 21(2), 225–233.
79. Rumelhart, D. E., & Norman, D. A. (1982). Simulating a skilled typist: A study of skilled cognitive-motor performance. *Cognitive science*, 6(1), 1–36. https://doi.org/10.1207/s15516709cog0601_1
80. Salehinejad, M. A., Ghanavati, E., Rashid, M. H. A., & Nitsche, M. A. (2021). Hot and cold executive functions in the brain: A prefrontal–cingular network. *Brain and Neuroscience Advances*, 5, 23982128211007769.
81. Scaltritti, M., Alario, F. X., & Longcamp, M. (2018). The scope of planning serial actions during typing. *Journal of cognitive neuroscience*, 30(11), 1620–1629. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01305

82. Scaltritti, M., Alario, F. X., & Longcamp, M. (2018). The scope of planning serial actions during typing. *Journal of cognitive neuroscience*, 30(11), 1620-1629. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01305
83. Scaltritti, M., Dufau, S., & Grainger, J. (2018). Stimulus orientation and the first-letter advantage. *Acta Psychologica*, 183, 37-42. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2017.12.009>
84. Scaltritti, M., Pinet, S., Longcamp, M., & Alario, F. X. (2017). On the functional relationship between language and motor processing in typewriting: an EEG study. *Language, Cognition and Neuroscience*, 32(9), 1086-1101. <https://doi.org/10.1080/23273798.2017.1283427>
85. Scaltritti, M., Suitner, C., & Peressotti, F. (2020). Language and motor processing in reading and typing: Insights from beta-frequency band power modulations. *Brain and Language*, 204, 104758. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2020.104758>
86. Śmigasiewicz, K., Ambrosi, S., Blaye, A., & Burle, B. (2020). Inhibiting errors while they are produced: direct evidence for error monitoring and inhibitory control in children. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 41, 100742. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2019.100742>
87. Smith, E. E., & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science*, 283(5408), 1657-1661.
88. Soghoyan, G., Smetanin, N., Lebedev, M., & Ossadtchi, A. (2020, October). Performance Analysis of a Source-Space Low-Density EEG-Based Motor Imagery BCI. In *International Conference on Cognitive Sciences* (pp. 687-691). Springer, Cham. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00180>
89. Sun, L., Feng, Z., Chen, B., & Lu, N. (2018). A contralateral channel guided model for EEG based motor imagery classification. *Biomedical Signal Processing and Control*, 41, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.09.023>

90. Taniguchi, Y., Burle, B., Vidal, F., & Bonnet, M. (2001). Deficit in motor cortical activity for simultaneous bimanual responses. *Experimental brain research*, 137(3), 259–268. <https://doi.org/10.1007/s002210000661>
91. Tempel, T., Frings, C., & Pastötter, B. (2020). EEG beta power increase indicates inhibition in motor memory. *International Journal of Psychophysiology*, 150, 92–99.
92. van der Meer, A. L., & Van der Weel, F. R. (2017). Only three fingers write, but the whole brain works†: a high-density EEG study showing advantages of drawing over typing for learning. *Frontiers in psychology*, 8, 706. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00706>
93. Vidal, F., Grapperon, J., Bonnet, M., & Hasbroucq, T. (2003). The nature of unilateral motor commands in between-hand choice tasks as revealed by surface Laplacian estimation. *Psychophysiology*, 40(5), 796–805. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.00080>
94. Wang, C., & Zhang, Q. (2021). Word frequency effect in written production: Evidence from ERPs and neural oscillations. *Psychophysiology*, 58(5), e13775. <https://doi.org/10.1111/psyp.13775>
95. Wiig, E. H., Secord, W. A., & Semel, E. (2013). *Clinical evaluation of language fundamentals: CELF-5*. Pearson.
96. Yang, Y., Shields, G. S., Guo, C., & Liu, Y. (2018). Executive function performance in obesity and overweight individuals: A meta-analysis and review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 84, 225-244. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.11.020>
97. Zhang, X., Yao, L., Sheng, Q. Z., Kanhere, S. S., Gu, T., & Zhang, D. (2018, March). Converting your thoughts to texts: Enabling brain typing via deep feature learning of eeg signals. In 2018 IEEE international conference on pervasive computing and communications (PerCom) (pp. 1–10).IEEE. <https://doi.org/10.1109/PERCOM.2018.8444575>

98. Ziemus, B., Baumann, O., Luerding, R., Schlosser, R., Schuierer, G., Bogdahn, U., et al. (2007). Impaired working-memory after cerebellar infarcts paralleled by changes in bold signal of a cortico-cerebellar circuit. *Neuropsychologia* 45, 2016–2024. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2007.02.012

Приложение 1. Информированное согласие на исследование

ИНФОРМИРОВАННОЕ СОГЛАСИЕ НА УЧАСТИЕ В ИССЛЕДОВАНИИ СОВЕРШЕННОЛЕТНЕГО УЧАСТНИКА

Исследовательская группа Лаборатории междисциплинарных исследований развития человека Санкт-Петербургского государственного университета приглашает Вас принять участие в исследовании «Психофизиологические модели письменной речи при печати», посвященном изучению нейрофизиологии письменной речи и исследованию исполнительных функций при печати.

Исследование поддержано Российским фондом фундаментальных исследований (договор от 13.09.2020 № [20-313-90046/20](#)). В этом исследовании примут участие от 30 до 60 человек, для которых русский язык является родным, без серьезных хронических и неврологических заболеваний, ограничивающих деятельность.

Прежде чем Вы примите решение о вашем участии в исследовании, мы бы хотели предоставить Вам информацию о нем.

Целью данного исследования является изучение особенностей письменной речи и изучение нейрофизиологии исполнительных функций, в частности, рабочей памяти, при печати. Мы исследуем, есть ли взаимосвязь между рабочей памятью и национальной активностью в процессе печати, и насколько эта активность уникальна для каждого человека.

Процедура исследования:

На предварительном этапе мы попросим вас пройти короткий тест на определение скорости печати. Для этого потребуется короткий текст на компьютере.

Исследование состоит из двух блоков: психофизиологическое исследование и проведение методик, направленных на изучение исполнительных функций.

На **первом этапе** мы попросим Вас заполнить опросник, направленный на изучение исполнительных функций и проведем поведенческую методику UNIT. Методика состоит из шести заданий и занимает от 40 минут до часа и направлена на изучение когнитивного развития участника.

На **втором этапе** мы проведем регистрацию электрической активности мозга с помощью электроэнцефалографии (ЭЭГ) – безболезненного и безопасного метода. Время проведения второго этапа индивидуально, занимает в среднем *1 - 1,5 часа*. В течение этого времени Вы будете сидеть перед монитором, на экране которого будут демонстрироваться изображения, буквы и слова. ***Вашей задачей будет напечатать то, что изображено на экране или придумать предложение по картинке.*** Регистрация активности мозга проводится с помощью специального набора электродов. Они закреплены на эластичной шапочке, и под каждый электрод мы поместим небольшое количество геля для контакта чувствительных датчиков с кожей.

По окончании обследования гель можно стереть или вымыть и высушить волосы. Данная процедура абсолютно безболезненна и безопасна. Используемое нами электрофизиологическое оборудование сертифицировано в России и соответствует международным стандартам безопасности.

Выгоды:

За участие в исследовании мы предлагаем участникам компенсацию в виде подарка эквивалентом 1000 рублей (одна тысяча рублей) . Для получения вознаграждения участникам необходимо пройти все этапы исследования (поведенческие методики, заполнение опросников и ЭЭГ-исследование). Вознаграждение вручается участникам сразу после окончания исследования.

Добровольность участия: мы очень надеемся на Ваше участие во всех блоках исследования, при этом хотим отметить, что участие в данном исследовании полностью добровольно. Участник исследования может принять решение не отвечать на определенные вопросы. Это решение не повлечет за собой никаких мер.

Конфиденциальность: Вся собранная информация абсолютно конфиденциальна и будет доступна только членам исследовательской группы. Всем участникам исследования присписываются идентификационные номера, которые вводятся в защищенную зашифрованную компьютерную базу данных. Результаты исследования будут представлены на конференциях и в научных публикациях только в групповой форме (т.е. как описание совокупности участников, а не отдельных людей). Полученная информация не будет сообщаться в образовательное учреждение, в котором учится Ваш ребенок.

По всем вопросам, связанным с исследованием, обращайтесь к координатору:

Дарья Момотенко, телефон: +7 951 672 44 78 или +7 911 083 49 42

Данное исследование рассмотрено и одобрено Этическим комитетом Института психологии Российской академии наук (ИП РАН), куда Вы можете обратиться, если у Вас возникнут вопросы: [телефон: +7(495) 683-38-09; e-mail: adm3@psychol.ras].

Я, _____ (ФИО)
даю свое согласие на участие в данном исследовании.

Мне разъяснены условия участия и процедура проведения обследования.

Дата _____

Подпись участника _____

Подпись представителя проекта _____

Контактные данные _____

Приложение 2. Одобрение этического комитета.



**Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Институт психологии
Российской академии наук
(ИП РАН)
129366, Москва,
ул. Ярославская, 13
Тел.: +7(495) 683-38-09
Факс: +7(495) 682-92-01
E-mail: adm3@psychol.ras.ru**

Решение этического комитета от 2021 года

В этический комитет поступил на рассмотрение протокол исследования “Психологические модели письменной речи при печати”, который разработан в Лаборатории междисциплинарных исследований развития человека Санкт-Петербургского государственного университета.

Протокол исследования содержит описание следующих методик исследования:

1. Психофизиологическое исследование с помощью регистрации ЭЭГ и метода вызванных потенциалов.
2. Самоопросник BRIEF2 (Behavior Rating Inventory of Executive Function - II Edition (BRIEF2; Gioia, Isquith, Guy, & Kenworthy, 2000);
3. Универсальный невербальный тест интеллекта UNIT (Universal Nonverbal Intelligence Test, Second Edition, Bruce A. Bracken, R. Steve McCallum, 2016);

4. Культурно независимый тест интеллекта Кеттелла (Culture fair intelligence test, Scale 2; CFIT; Cattell & Cattell, 1960);

5. Оценка превалирующей в использовании руки (Oldfield, R.C. "The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory." Neuropsychologia. 9(1):97-113. 1971).

Этический комитет постановил следующее:

1. Одобрить протокол исследования, “Психологические модели письменной речи при печати”, который разработан в Лаборатории междисциплинарных исследований развития человека Санкт-Петербургского государственного университета.

2. Признать предложенные методики безопасными для физического и психического здоровья участников исследования.

3. Разрешить использование данных методик как для взрослых, так и для несовершеннолетних участников исследования.

4. Утвердить порядок получения письменного информированного согласия для участия в исследовании:

- согласие на участие в исследовании лиц старше 14 лет должно быть зафиксировано в письменном информированном согласии, которое подписывается самими участниками исследования.

Председатель этического комитета



зам. директора ИП РАН,
чл.-корр. РАН А.В. Юревич

Приложение 3. Стимульный материал для ЭЭГ эксперимента
«Копирование предложений»

1. эй цирюльникъ ёжик выстриги да щетину ряхи сбрей феном вошь за
печь гони
2. шалящий фавн прикинул объём горячих звезд этих вьюжных царств
3. пиши зять съел яйцо ещё чан брюквы... эх - ждем фигу
4. флегматичная эта верблюдица жует у подъезда засыхающий горький
шиповник
5. эх взъярюсь толкну флегматика - дал бы щец жарчайших пётр
6. вступив в бой с шипящими змеями - эфой и гадюкой - маленький
цепкий храбрый ёж съел их
7. однажды съев фейхоа я как зацикленный ностальгирую всё чаще и
больше по этому чуду
8. расчешись. объявляю - туфли у камина где этот хищный ёж цаплю
задел
9. шифровальщица попросту забыла ряд ключевых множителей и тэгов
10. южно-эфиопский грач увел мышь за хобот на съезд ящериц
11. широкая электрификация южных губерний даст мощный толчок
подъёму сельского хозяйства
12. здесь фабула объять не может всех эмоций — шепелявый скороход в
юбке тащит горячий мёд
13. художник-эксперт с компьютером всего лишь яйца в объёмный
низкий ящик чохом фасовал

Приложение 4. Стимульный материал (слова) для ЭЭГ эксперимента
«Формулирование предложений»

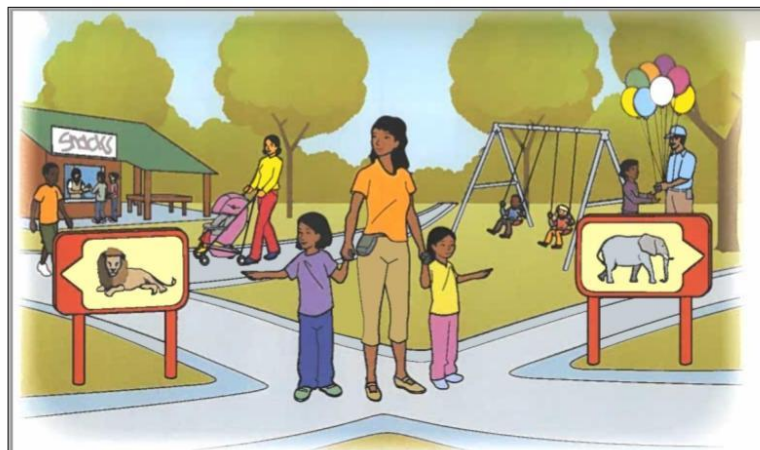
1. после ... до
2. читать
3. она
4. и ... поэтому
5. несмотря на
6. в
7. быстро
8. наконец
9. если... то...
- 10.машина
- 11.третий
- 12.первый
- 13.прежде чем ... в противном случае
- 14.потому что
- 15.самолет
- 16.лучший
- 17.вместо того, чтобы
- 18.готовить
- 19.когда
- 20.перед
- 21.даже ... если
- 22.и ... или
- 23.и
- 24.если

Приложение 5. Стимульный материал (примеры изображений) для ЭЭГ эксперимента «Формулирование предложений»

Когда



Или ... и



Приложение 6. Форма опросника BRIEF-2

BRIEF-2

В данной анкете мы просим Вас ответить на ряд вопросов о как Вы управляете своим поведением. Мы хотим Вас спросить, были ли у Вас проблемы с какими-либо видами поведения в течение последних 6 месяцев. Пожалуйста, выберите подходящий ответ для каждого из пунктов.

Вся собранная информация конфиденциальна и будет доступна только членам исследовательской группы.

Ваш ID	
Дата рождения (дд.мм.гггг)	
Дата заполнения (дд.мм.гггг)	

№	Утверждение	Никогда	Иногда	Часто
1	Мне трудно сидеть спокойно			
2	Мне трудно принять другой для меня способ решения проблем, связанных с учебной/работой, друзьями или другими задачами			
3	Если я должен запомнить три вещи, я помню только первую или последнюю			
4	Я не осознаю, как мое поведение влияет на других людей или мешает им			
5	Я делаю свою работу неряшливо			
6	Я испытываю вспышки гнева			
7	Я не планирую заранее выполнение заданий по учебе/работе			

BRIEF ID _____

1

		Никогда	Иногда	Часто
8	Мне трудно находить свои вещи (одежду, очки, обувь, книги или канцелярские принадлежности)			
9	У меня есть проблемы с тем, чтобы начать что-либо делать в одиночку			
10	Я импульсивный/импульсивная (не думаю прежде, чем делать что-либо)			
11	Мне трудно привыкнуть к новым ситуациям (новому классу, группе, друзьям)			
12	Я могу только недолго удерживать что-то в поле своего внимания			
13	Я плохо представляю свои сильные и слабые стороны (пробую делать что-то слишком простое или сложное для меня)			
14	Я взрываюсь по мелочам			
15	Я теряюсь в деталях и упускаю главную идею			
16	Я теряю контроль над собой чаще, чем мои друзья			
17	Я "застреваю" на одной теме или виде деятельности			
18	Я забываю своё имя			
19	Мне трудно выполнять такие виды работ и задач, которые включают более одного "шага"			
20	Я не замечаю, когда мои действия мешают другим			
21	Мне трудно организовывать то, что я пишу			
22	Меня расстраивают незначительные происшествия			
23	У меня есть хорошие идеи, но я не довожу работу до конца			
24	Я говорю невпопад			

BRIEF ID _____

2

		Никогда	Иногда	Часто
25	Мне трудно завершить выполнение заданий (дома по хозяйству, в учебе)			
26	Я не замечаю, что мое поведение вызвало негативную реакцию до того момента, когда становится уже слишком поздно			
27	Я излишне бурно реагирую			
28	Мне трудно что-либо запомнить, даже всего на несколько минут (например, телефонные номера или маршрут)			
29	Я делаю ошибки по невнимательности			
30	Мне тяжело ждать своей очереди			
31	Мне неприятно иметь дело с изменениями (в рутине, еде, местах пребывания)			
32	Я забываю отдать свое домашнее/рабочее задание, даже если оно выполнено			
33	Я медленнее других завершаю работу			
34	Я легко впадаю в состояние перегруженности			
35	Я не планирую свои дела наперед			
36	Мне трудно досчитать до трех			
37	Я не думаю заранее о возможных проблемах в будущем			
38	Мне трудно самостоятельно завершить какое-либо задание/дело			
39	Я перебиваю окружающих			
40	Я пробую один и тот же подход к решению проблемы снова и снова, даже если он не работает (я застреваю)			

BRIEF ID _____

3

		Никогда	Иногда	Часто
41	Я легко забываю инструкции			
42	Мне требуется больше, чем другим, времени для завершения работы			
43	Я плачу по пустякам			
44	У меня есть трудности с завершением работы			
45	Мне сложно думать над разными способами решения проблемы, когда я застрял(а)			
46	Я рассеянный/рассеянная (забывчивый/забывчивая)			
47	Мне трудно расставлять приоритеты в своих делах			
48	Я думаю или рассуждаю вслух, когда что-либо делаю			
49	Я не думаю о последствиях до того, как сделал(а) что-то			
50	Я не отдаю себе отчет о своем поведении в группе людей			
51	Мне сложно переключаться с одной задачи на другую			
52	Мне трудно придумывать разные способы решения проблемы			
53	Мне трудно выполнять задачи, необходимые для достижения цели (например, копить деньги для чего-то конкретного или учиться для получения хороших оценок)			
54	Я не могу найти входную дверь моего дома			
55	Я испытываю трудности в завершении долгосрочных проектов (например, написание сочинения или отчета)			

BRIEF ID _____

4

Приложение 7. Результаты LMM анализа по припоминанию предложений.

Predictors	Estimates	CI	p
(Intercept)	36.23	26.06 – 46.41	<0.001
Индекс Памяти	4.08	-3.86 – 12.02	0.282
Торможение	-1.58	-7.59 – 4.43	0.575
Рабочая память	-4.77	-12.56 – 3.03	0.205
Переключение	-0.11	-7.02 – 6.81	0.973
IQ	-0.66	-4.41 – 3.10	0.707
variable [C2]	-3.65	-15.84 – 8.54	0.524
variable [C3]	-11.01	-25.35 – 3.34	0.119
variable [Cz]	5.21	-9.07 – 19.49	0.439
variable [FC2]	-1.31	-15.87 – 13.24	0.846
variable [FC3]	-11.30	-25.65 – 3.04	0.111
variable [FC4]	1.55	-7.11 – 10.21	0.702
variable [FCz]	1.44	-16.43 – 19.31	0.863
Индекс Памяти * Торможение	-2.62	-12.05 – 6.81	0.553
Индекс Памяти * Рабочая память	4.91	-6.06 – 15.87	0.346
Торможение * Рабочая память	2.56	-8.63 – 13.75	0.624
Индекс Памяти * Переключение	-4.12	-12.33 – 4.08	0.292
Торможение * Переключение	-1.33	-14.55 – 11.89	0.829
Рабочая память * Переключение	3.48	-9.49 – 16.46	0.566
(Индекс Памяти * Торможение) * Рабочая память	8.53	-6.25 – 23.30	0.230
(Индекс Памяти * Торможение) * Переключение	-11.42	-24.11 – 1.27	0.073
(Индекс Памяти * Рабочая память) * Переключение	-7.17	-30.52 – 16.17	0.513
(Торможение * Рабочая память) * Переключение	16.01	-2.45 – 34.46	0.083
(Индекс Памяти * Торможение * Рабочая память) * Переключение	1.70	-26.61 – 30.02	0.897
<hr/>			
Random Effects			
σ^2	26.37		
τ_{00} ID	7.91		
ICC	0.23		
N ID	22		
<hr/>			
Observations	37		
Marginal R2 / Conditional R2	0.401 / 0.539		

Notes: в качестве зависимой переменной выступает спектральная мощность гамма ритма.