

На правах рукописи



Маркевич Максим Олегович

**Влияние слуховой ритмической стимуляции на эффективность решения
когнитивных задач: психофизиологическое исследование**

5.12.2. Междисциплинарные исследования мозга

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата психологических наук

федеральная территория «Сириус»
2024

Работа выполнена в автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Научно-технологический университет «Сириус», федеральная территория «Сириус».

Научный руководитель:

Сысоева Ольга Владимировна

кандидат психологических наук

Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «Научно-технологический университет «Сириус»

Защита состоится 23.12.2024 года в 17:00 на заседании диссертационного совета НТУ.5.12.2.03 на базе АНОО ВО «Университет «Сириус» по адресу 354340, Краснодарский край, федеральная территория «Сириус», Олимпийский пр., д.1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте АНОО ВО «Университет «Сириус» <https://siriusuniversity.ru/sveden/science/obyavleniya-o-zashchitakh/8633/>

Автореферат разослан «__» ноября 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Недошивина Ю.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В современном обществе навык чтения является одним из ключевых факторов успешной социальной адаптации и профессиональной реализации. Трудности с чтением, однако, наблюдаются сейчас у довольно большого процента населения (порядка 15-20% по данным международной ассоциации дислексии), и приводят к снижению академической успеваемости и качества жизни. До сих пор нет полного понимания психофизиологических механизмов, лежащих в основе навыка чтения, которые могут направить пути поиска эффективных подходов к выработке этого навыка.

Особенно следует отметить проблемы у подростков, которых в психофизиологических исследованиях практически не изучают. Они как раз и являются целевой группой данной работы. В международных мониторинговых исследованиях качества образования, таких как PIRLS (Progress in International Reading Literacy Study) и PISA (Programme for International Student Assessment), наблюдается значительный разрыв в успеваемости в чтении между младшим школьным и подростковым возрастом у российских детей. Российские дети младшего возраста традиционно показывают высокие результаты, тогда как подростки демонстрируют неудовлетворительные показатели грамотности по сравнению с молодежью из стран ОЭСР (Организация Экономического Сотрудничества И Развития). Таким образом, актуальность данного исследования также обусловлена отсутствием решения проблемы разрыва в успеваемости в чтении между ранним школьным и подростковым возрастом у российских детей.

Кроме понимания механизмов чтения, в работе исследуется влияние ритмической музыкальной стимуляции на такой важный аспект чтения как понимание грамматической согласованности предложений. Ряд исследований продемонстрировал наличие связи между музыкальными навыками и навыками чтения, что указывает на потенциал использования музыки в коррекционной работе (см. обзор Ozernov-Palchik et al., 2018). Кроме того, многие исследования показали эффективность непосредственного воздействия ритмической стимуляции для улучшения навыков, связанных с чтением (см. обзор Fiveash et al., 2021). Однако есть и противоположные данные. Систематизация и экспериментальная проверка этих исследований на русскоязычной выборке подростков, с использованием психофизиологического подхода поможет продвинуться в понимании связи между ритмическими процессами и чтением, а также может иметь важное прикладное значение в продвижении эффективных подходов для улучшения навыка чтения.

Степень разработанности темы исследования

Эффект фасилитации когнитивных процессов — это явление, при котором определенные внешние стимулы, такие как ритмическая стимуляция, способствуют улучшению выполнения когнитивных задач, связанных с такими когнитивными процессами, как внимание, память и восприятие. Эффект фасилитации когнитивных процессов, возникающий после ритмической стимуляции, привлекает внимание исследователей из различных областей, включая психологию, нейронауку и лингвистику. Несмотря на наличие эмпирических доказательств эффекта фасилитации, в исследованиях наблюдается ряд ограничений и противоречий.

Большинство исследований фокусируется на изучении эффекта фасилитации у детей и молодых взрослых, что ограничивает возможность обобщения результатов на другие возрастные группы. Это указывает на необходимость расширения возрастного диапазона участников для получения более полного представления о механизмах эффекта фасилитации после воздействия ритмической стимуляции.

Исследования в рамках синтаксического направления демонстрируют, как подтверждения эффекта фасилитации в задаче по оценке грамматической согласованности после воздействия ритмической стимуляции, так и опровержения. Это свидетельствует о необходимости дальнейшего изучения и уточнения роли ритмической стимуляции в задаче по оценке грамматической согласованности. Кроме того, исследования в данном направлении сосредоточены преимущественно на изучении эффекта фасилитации в слуховой задаче по оценке

грамматической согласованности, что ограничивает понимание эффекта фасилитации в других модальностях, например, при оценке грамматической согласованности предложений при чтении.

Таким образом, несмотря на наличие эмпирических доказательств эффекта фасилитации, возникающего после ритмической стимуляции, степень разработанности темы остается недостаточной. Существующие ограничения и противоречия в исследованиях указывают на необходимость дальнейшего изучения механизмов эффекта фасилитации, расширения возрастного диапазона участников, включения различных модальностей. Преодоление этих ограничений позволит получить более полное представление о роли ритмической стимуляции в улучшении языковых процессов и разработать эффективные терапевтические подходы к коррекции нарушений языковых процессов.

Цель и задачи

Целью данной диссертации является изучение связи внутренних и внешних ритмических процессов с характеристиками навыка чтения.

Цель конкретизируется в следующих **задачах**:

1. Изучить влияние слуховой ритмической стимуляции на выполнение задачи по оценке грамматической согласованности предложений.
2. Изучить влияние слуховой ритмической стимуляции на мозговую активность при выполнении задачи по оценке грамматической согласованности предложений.
3. Изучить связи между динамическими характеристиками читателей (скорость и стабильность чтения), нейрофизиологическими показателями, отражающими ранние этапы обработки слова, и показателями эффективности выполнения задачи по оценке грамматической согласованности предложений.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования является связь ритмических процессов и чтения.

Предметом исследования является влияние внешней слуховой ритмической стимуляции и внутренних динамических характеристик подростка на эффективность выполнения задачи по оценке грамматической согласованности предложений.

Теоретические гипотезы исследования

1. Скорость чтения коррелирует с амплитудой и латентностью ранних компонентов вызванных потенциалов (ВП) P100 и N170.
2. Регулярная ритмическая стимуляция модулирует эффект фасилитации в задаче по оценке грамматической согласованности предложений.
3. Нерегулярная ритмическая стимуляция может ухудшать выполнение задачи по оценке грамматической согласованности предложений.
4. Эффективность выполнения задачи по оценке грамматической согласованности предложений коррелирует с внутренними динамическими характеристиками читателей (скорость, стабильность чтения и восприятие метрических структур).
5. Воздействие слуховой ритмической стимуляции проявляется на нейрофизиологическом уровне.

Научная новизна

1. Впервые показана связь латентности ранних ответов мозга на слова и скорости чтения у русскоязычных подростков.
2. Впервые проведено исследование влияния слуховой ритмической стимуляции на процесс выполнения зрительной задачи по оценке грамматической согласованности предложений на поведенческом и нейрофизиологическом уровнях у русскоязычных подростков.
3. Впервые обнаружено влияние нерегулярной ритмической стимуляции на поведенческом уровне при выполнении задачи по оценке грамматической согласованности предложений в зрительной модальности.
4. Впервые обнаружено влияние нерегулярной ритмической стимуляции на нейрофизиологическом уровне при выполнении задачи по оценке грамматической согласованности предложений в зрительной модальности.

Теоретическая значимость работы

1. Систематизация и анализ результатов исследований в области общих когнитивных и специфичных языковых функций позволяют углубить понимание роли ритмической стимуляции и внутренних динамических характеристик в формировании эффекта фасилитации (ЭФ).

2. Данное исследование вносит вклад в понимание внешних и внутренних динамических факторов, влияющих на развитие навыков чтения у подростков.

3. Данное исследование вносит вклад в понимание роли слуховой ритмической стимуляции, предъявляемой в процессе решения зрительной задачи по оценке грамматической согласованности предложений.

4. Данное исследование вносит вклад в понимание внутренних динамических характеристик читателей, связанных с эффективностью выполнения зрительной задачи по оценке грамматической согласованности предложений.

5. Данное исследование открывает новые перспективы для дальнейшего изучения механизмов, лежащих в основе взаимодействия ритмических навыков и процесса обработки грамматических структур текста, способствуя развитию теоретических моделей языковой обработки.

Практическая значимость работы

Результаты данного исследования имеют потенциал для применения в области образования и клинической практики. Понимание взаимосвязи между динамическими характеристиками читателей (скорость и стабильность чтения), нейрофизиологическими показателями чтения и показателями эффективности выполнения задачи по оценке грамматической согласованности предложений может способствовать разработке инновационных методов обучения и коррекции языковых нарушений.

Методология и методы исследования

Работа заключается в многоуровневом исследовании когнитивных процессов, которое включает поведенческий уровень оценки скорости чтения, понимания грамматических структур предложений, детектирования метрических структур ритмических последовательностей, а также исследование активности коры головного мозга во время выполнения зрительной задачи по оценке грамматической согласованности предложений с использованием метода электроэнцефалографии (ЭЭГ).

В рамках данной диссертационной работы применялись теоретические (анализ, сравнение, обобщение результатов теоретических и эмпирических исследований) и эмпирические (лабораторный эксперимент, опросный, поведенческий) методы исследования.

Методы математической обработки включали:

1. Анализ ковариации с повторными измерениями (repeated measures ANCOVA).
2. Дисперсионный анализ с повторными измерениями (repeated measures ANOVA).
3. Линейная регрессия.
4. Пермутационный тест.
5. Коэффициент корреляции Пирсона.
6. Метод линейного смешанного моделирования (LMER).
7. Непараметрический тест Кендалла.

Положения, выносимые на защиту

1. Слуховая ритмическая стимуляция регулярного типа не оказывает влияния на выполнение задачи по оценке грамматической согласованности предложений при чтении.

2. Слуховая ритмическая стимуляция нерегулярного типа ухудшает выполнение задачи по оценке грамматической согласованности предложений при чтении.

3. Нерегулярная ритмическая стимуляция влияет на мозговую активность при выполнении задачи по оценке грамматической согласованности предложений при чтении.

4. Скорость чтения связана с нейрофизиологическими показателями, отражающими ранние этапы обработки слова, и показателями эффективности выполнения задачи по оценке грамматической согласованности предложений при чтении.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность полученных результатов обеспечена применением комплекса методов исследования, адекватных поставленным целям и задачам, а также корректным использованием методов математической обработки данных.

Теоретические и экспериментальные результаты диссертационного исследования обсуждались на научных семинарах Научного центра когнитивных исследований Научно-технологического университета «Сириус». Основные положения работы были представлены на следующих российских и международных конференциях:

1. Балтийский форум: нейронаука, искусственный интеллект и сложные системы, г. Калининград. Доклад «Rhythmic structure of reading and cross-modal priming effect of rhythm on grammatical judgments» (16 сентября 2022).

2. VII Съезд РПО и Всероссийский форум психологов в Екатеринбурге, доклад «Ритмическая структура чтения и эффект кросс-модального ритмического прайминга на грамматические суждения» (29 сентября 2022).

3. Междисциплинарная научно-практическая конференция с международным участием «Речь. Грамотность. Дислексия». Пгт. Сириус. Доклад «Ритмическая структура чтения и эффект кросс-модального ритмического прайминга на грамматические суждения» (17 октября 2022).

4. Седьмая конференция «Когнитивная наука в Москве: новые исследования». Доклад «Влияние аудиальной ритмической стимуляции на грамматические процессы: кросс-модальное исследование» (21 июня 2023).

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Объем диссертации с учетом приложений составляет 121 страницу. Библиографический список включает 200 наименований, из них 187 на иностранном языке, 13 рисунков, 19 таблиц и 24 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обосновывается актуальность выбранной темы диссертационного исследования, описывается теоретическая основа диссертационной работы, определяются цель и задачи, аргументируется научная новизна, выдвигаются основные положения, выносимые на защиту, определяются теоретическая и практическая значимость работы, раскрывается методология исследования, а также указывается степень достоверности и апробации результатов.

Первая глава «Теоретический анализ процесса чтения и перспективы использования внешней ритмической стимуляции» посвящена рассмотрению процесса чтения и его компонентов на поведенческом и нейрофизиологическом уровнях, а также концепции обработки ритма в речи и музыке (Processing Rhythm in Speech and Music, PRISM; см. обзор Fiveash et al., 2021), а также анализу эмпирических исследований об участии временных механизмов в процессе зрительной обработки информации, в том числе в процессе чтения. Глава также содержит анализ эмпирических исследований музыкально-ритмического воздействия на когнитивные и языковые процессы.

Проведенный теоретический анализ процесса чтения и влияния ритмической стимуляции на когнитивные процессы показал необходимость дальнейших исследований связи между внутренними динамическими характеристиками читателей и эффективностью выполнения задачи грамматических суждений, а также влияния внешней ритмической стимуляции на эффект фасилитации в задаче грамматических суждений.

Вторая глава «Связь между ранними компонентами потенциалов, связанных с событием и скоростью чтения» включает описание эмпирического исследования 1, цель которого состояла в том, чтобы изучить ранние этапы обработки слов и их связи со скоростью чтения у подростков в возрасте 13-17 лет. Исследование, представленное в данной главе, базируется на корреляционном подходе и не включало ритмическую стимуляцию. Также данная

глава выполняет методологическую роль в данной диссертационной работе, представляя апробацию разработанной задачи грамматических суждений представленной в зрительной модальности.

Основываясь на теоретическом анализе результатов предыдущих исследований, описанных в первой главе, были сформулированы следующие операциональные гипотезы и исследовательские вопросы:

1. Предыдущие исследования показали лексический эффект N170, операционализированный как разница в амплитуде N170 в ответ на слова по сравнению с псевдословами только у взрослых, но не у детей. Мы ожидаем, что лексический эффект N170 также будет присутствовать у подростков. Если это так, это будет свидетельствовать о том, что их обработка слов аналогична обработке слов у взрослых.

2. Грамматические эффекты P100 и N170, операционализированные как различия в амплитуде этих компонентов в ответ на грамматически правильные слова по сравнению с неправильными, были показаны у взрослых. Однако эти эффекты не были исследованы у подростков. Неизвестно, является ли зрелость процесса чтения в подростковом возрасте достаточной для проявления таких ранних грамматических эффектов. В этом исследовании мы изучаем, присутствуют ли грамматические эффекты P100 и N170 у подростков (исследовательская гипотеза). В дополнение к словесным стимулам, использованным в предыдущих исследованиях, мы также включили грамматически правильные и неправильные псевдослова в качестве стимулов. Это позволит нам выяснить, существует ли чистый грамматический эффект, свободный от потенциального загрязнения эффектами словесных признаков, таких как частота и конкретность/абстрактность. Различия в амплитуде или латентности компонентов P100 и N170 в ответ на эти стимулы будут указывать на то, что у подростков эти компоненты также связаны с обработкой грамматики.

3. Поскольку читатели с более высокой скоростью чтения обычно больше читают, это приводит к формированию системы раннего узнавания слова и накоплению зрительных образов слов, мы ожидаем, что размер лексического эффекта N170 будет положительно коррелировать со скоростью чтения.

4. Основываясь на ранее показанных различиях в компонентах P100 и N170 между группами хорошо и плохо читающих участников, а также на наличие связей между этими компонентами и скоростью чтения у взрослых, мы ожидаем обнаружить аналогичные связи у подростков. Мы ожидаем, что скорость чтения будет коррелировать с амплитудой и латентностью компонентов потенциалов, связанных с событием (ПСС) P100 и N170.

Выборка исследования 1

В исследовании приняли участие 34 подростка. 2 участника отказались от психофизиологической части исследования, поэтому они не были включены в окончательную выборку. Выборка составила 32 участника в возрасте от 13 до 17 лет (средний возраст = 15,36 лет, стандартное отклонение = 1,58, 25 девочек).

Стимульный материал исследования 1 и 2

Стимульный материал включал 96 предложений в исследовании 1 и 144 предложения в исследовании 2. Все предложения были на русском языке и имели одинаковую структуру: обстоятельство места + простое глагольное сказуемое (в прошедшем времени) + деепричастный оборот + подлежащее (целевое слово). Существительные были разделены на три рода: женский, средний и мужской. Подлежащее выражалось словом или псевдословом, либо грамматически согласованным, либо не согласованным по роду с глагольным сказуемым в предложении. Среди целевых слов в исследовании 1 было 48 реальных существительных (24 мужского рода и 24 женского рода) и 48 псевдослов (24 мужского рода и 24 женского рода), в исследовании 2 было 72 реальных (36 мужского рода и 36 женского рода) слова и 72 псевдослова (36 мужского рода и 36 женского рода). Таким образом, было четыре условия в соответствии с типом целевого слова: грамматически согласованное слово, грамматически согласованное псевдослово, грамматически несогласованное слово и грамматически несогласованное псевдослово. В исследовании 1 было 24 предъявления для каждого условия, а в исследовании 2 для каждого условия прайминга и

контрольного условия было предъявлено 18 грамматических и 18 неграмматических предложений.

Экспериментальная процедура исследования 1 и 2

При выполнении основной задачи грамматических суждений участники эксперимента находились на расстоянии одного метра от экрана компьютера в звуко- и светоизолированной комнате. Эксперимент проводился с использованием программного обеспечения Psychopy 2022.1.1 (Peirce et al., 2019) и был представлен на экране Lenovo Legion. Предложения были представлены в 8 блоках в исследовании 1 (см. Рисунок 1 (А)) и 12 блоках в исследовании 2 (см. Рисунок 1 (В)), и каждый блок включал 12 предложений с 4 равномерно распределенными условиями. Предложения предъявлялись в случайном порядке. Предложения предъявлялись по одному слову в режиме самостоятельного темпа (self-paced), инициируемого нажатием кнопки на панели ответов RB-740 (Cedrus) (см. Рисунок 1). Пустой экран предъявлялся в течение 400 мс перед целевым словом после нажатия кнопки на предшествующем слове. Слова были черного цвета и предъявлялись в центре экрана на сером фоне, экран (27") имел разрешение 1920x1080, размер шрифта Arial составлял 28 пт. Целевое слово оставалось на экране до момента ответа. Участников просили определить, является ли последнее слово в предложении грамматически правильным или неправильным, нажимая соответствующие кнопки на панели ответов. Следующее предложение предъявлялось через 500 мс после ответа.

В исследовании 2 перед началом каждого блока участники подвергались воздействию слуховой ритмической стимуляции, которая предъявлялась через наушники Panasonic RP-NS46E-K с громкостью 50 дБ (уровень звукового давления (Sound Pressure Level, SPL)) в псевдослучайной последовательности. Псевдорандомизация гарантировала, что два последовательных слуховых стимула не принадлежали к одному и тому же условию. Каждый участник был случайным образом распределен в одну из четырех последовательностей слуховой ритмической стимуляции.

Перед началом экспериментального задания участники выполняли короткую тренировочную сессию, которая не была включена в дальнейший анализ.

Задание на скорость чтения

Для оценки скорости чтения использовались два повествовательных текста. Тексты были частью батареи оценки грамотности на русском языке (еще не стандартизированной, но апробированной; Логвиненко и др., 2021). Первый текст состоял из 215 слов, второй - из 272 слов.

Участники проходили индивидуальное тестирование в светлом и тихом помещении. Их просили читать текст вслух как можно быстрее и точнее, и на чтение каждого текста им давалась одна минута. С целью проконтролировать включенность участников в процесс чтения после каждого текста следовал один краткий вопрос на понимание с выбором одного правильного ответа (из трех возможных вариантов): Какое название лучше всего подходит к этому тексту? (25% участников совершили ошибку при ответе на вопрос для первого и второго текста).

Значения скорости чтения (количество правильно прочитанных слов за одну минуту) усреднялись между двумя текстами и преобразовывались в z-оценки (1,71% ошибок при чтении).

Регистрация и предварительная обработка ЭЭГ в исследовании 1

Для регистрации активности электрической активности головного мозга в ходе выполнения задачи грамматических суждений был использован метод электроэнцефалографии (ЭЭГ). Сигнал ЭЭГ регистрировался с помощью 128 активных электродов Ag/AgCl (ActiCAP, Brain Products GmbH), сконфигурированных в соответствии с международной системой 10-5 и частотой дискретизации 500 Гц. Импеданс поддерживался на уровне менее 10 кОм. Электрод FCz был референтным, а центральный лобный электрод был заземляющим.

Сигналы ЭЭГ анализировались с помощью программного обеспечения Brain Vision Analyzer (BVA) версия 2.2 (Sauer, 2021). Записи ЭЭГ фильтровались с нижней границей среза 0,1 Гц, верхней границей среза 70 Гц и режекторным фильтром 50 Гц. Плохие электроды интерполировались. Сегменты с плохими записями, превышающими ± 400 мкВ, были исключены из анализа.

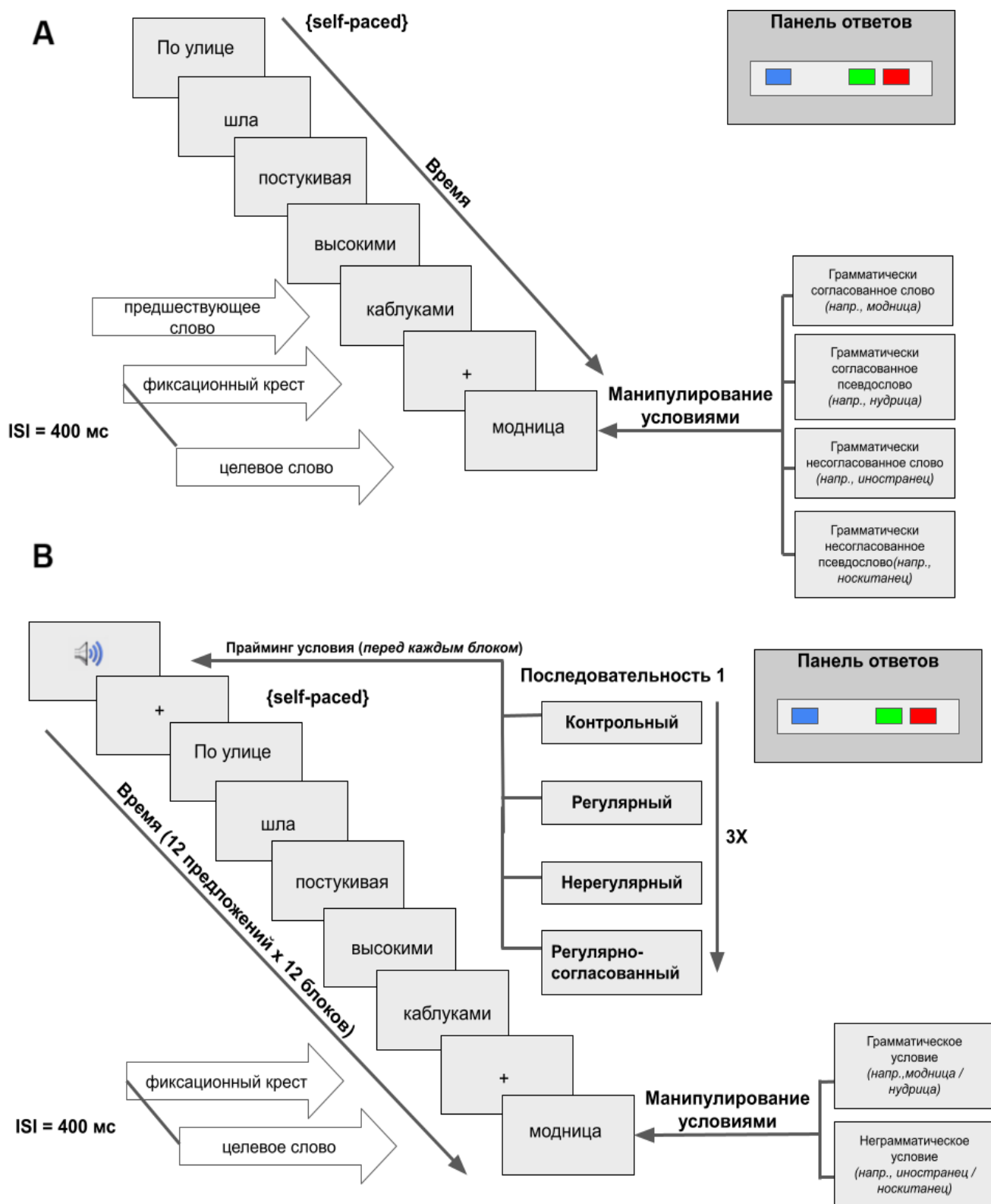


Рисунок 1 — Схема экспериментального дизайна исследования 1 (А) и исследования 2 (В). Синяя кнопка на панели ответов нажималась для перехода к следующему слову, красная кнопка нажималась для указания на грамматическую ошибку, а зеленая кнопка нажималась для указания на отсутствие грамматической ошибки.

Для коррекции окулографических артефактов использовался метод независимого компонентного анализа (Independent Component Analysis, ICA). Отбор компонентов для удаления осуществлялся визуально, основываясь на характерных паттернах, соответствующих движениям

глаз. Компоненты, отражающие пики, связанные с глазными движениями, были удалены $M(SD) = 4,13(1,74)$.

Данные были повторно отнесены к среднему референтному значению и сегментированы на сегменты от -200 до 1500 мс относительно целевого слова. Была выполнена коррекция базовой линии (-200 мс) и удаление сегментов с артефактами (± 100 мкВ). Вызванные потенциалы (ВП) усреднялись отдельно для каждого условия независимо от правильности ответа (85,77%); среднее количество эпох на условие составило $M(SD) = 20,43(3,60)$.

На основе наблюдаемых топографий скальпа амплитуда и латентность компонентов P100 и N170 анализировалась в задних областях левого и правого полушарий, включая электроды в трех регионах: затылочном, височном и теменном. Амплитуда компонентов определялась как среднее значение ± 10 мс вокруг пика (максимального значения) в интервале от 90 до 150 мс для P100 и от 130 до 230 мс для N170. Область интереса включала 28 электродов задних областей. Левая область включала электроды P1, P3, P5, O1, O9, O11h, PO3, PO7, PO9, PPO1h, PPO5h, PPO9h, POO9h и POO1. Правая область включала электроды P2, P4, P6, O2, O10, O12h, PO4, PO8, PO10, PPO2h, PPO6h, PPO10h, POO10h и POO2.

Анализ данных исследования 1

Статистический анализ проводился в программном обеспечении R (R Core Team, 2020; версия 2023.03.01).

Точность ответов в задаче грамматических суждений рассчитывалась как сумма правильных ответов для каждого условия. Поскольку распределение времени реакции было смещено вправо, значения были логарифмически преобразованы, а значения, выходящие за пределы области 2,5 сигма, были удалены (2,28%). Мы ожидали, что поведенческие переменные, такие как скорость чтения, точность ответов и время реакции, усредненные по всем экспериментальным условиям, будут взаимосвязаны, поэтому мы рассчитали корреляции Пирсона между этими поведенческими переменными.

Для изучения влияния лексического и грамматического условий на точность ответа и время реакции был проведен анализ ковариации с повторными измерениями (ANCOVA): 2 (лексический фактор: слова vs. псевдослова) \times 2 (грамматический фактор: грамматически согласованные vs. грамматически несогласованные) с учетом возраста участников.

Для изучения лексических и грамматических эффектов P100 и N170 на целевое слово был проведен анализ ковариации с повторными измерениями (ANCOVA) с учетом возраста участников отдельно для амплитуды и латентности каждого компонента (всего четыре модели). Фиксированными факторами были: 2 (лексический фактор: слова vs. псевдослова) \times 2 (грамматический фактор: грамматически согласованные vs. грамматически несогласованные) \times 2 (фактор полушария: левое vs. правое).

Для проверки гипотез 1 и 2 мы интерпретировали основные эффекты лексичности и грамматичности полученные с помощью ANCOVA. Таким образом, основные эффекты представляли собой средние значения двух отдельных условий, которые включали максимум 48 испытаний. Взаимодействия между лексическим, грамматическим факторами и фактором полушария были включены в ANCOVA эксплораторно и интерпретируются с осторожностью, поскольку для каждого отдельного условия (т.е. грамматически согласованное слово, грамматически согласованное псевдослово, грамматически несогласованное слово и грамматически несогласованное псевдослово) было максимум только 24 испытания.

Были проведены четыре модели линейной регрессии, чтобы установить связь между амплитудой и латентностью P100 и N170 и поведенческими переменными (скорость чтения, возраст).

Регрессионная модель для амплитуды P100: Зависимой переменной была амплитуда P100, усредненная по всем электродам области интереса всех экспериментальных условий. Предикторами были скорость чтения и возраст участников.

Регрессионная модель для амплитуды N170: Поскольку мы обнаружили основной лексический эффект для амплитуды N170 (см. Результаты), зависимыми переменными были амплитуды N170 по всем электродам области интереса, а лексический и грамматический

факторы и их взаимодействие были добавлены в качестве предикторов. Скорость чтения и возраст участников также были предикторами.

Регрессионная модель для латентности P100: Зависимой переменной была латентность P100, усредненная по всем электродам области интереса всех экспериментальных условий. Предикторами были скорость чтения и возраст участников.

Регрессионная модель для латентности N170: Зависимой переменной была латентность N170, усредненная по всем электродам области интереса всех экспериментальных условий. Предикторами были скорость чтения и возраст участников.

Таким образом, модели линейной регрессии 1, 3 и 4 включали средние значения по всем 96 испытаниям. Мы не включали экспериментальные условия в качестве предикторов, поскольку на предыдущих этапах анализа не было статистически значимых основных эффектов или эффектов взаимодействия в моделях ANCOVA (см. Результаты). Это позволило нам уменьшить количество факторов и, следовательно, увеличить статистическую мощность. В модели линейной регрессии номер 2 с лексическим и грамматическим факторами, включенными в качестве предикторов, каждый отдельный основной эффект включал средние значения по 48 испытаниям, а их взаимодействие учитывало 24 испытания на каждое условие.

Результаты эмпирического исследования 1

Вызванные потенциалы (ВП) задних областей можно увидеть на Рисунке 2.

Первая гипотеза подтвердилась, как показано на Рисунке 3 (А), амплитуда N170 была более отрицательной для слов, чем для псевдослов, $F(1,31) = 7,49$, $p = 0,010$, $\eta^2 = 0,194$, независимо от их грамматичности (см. Рисунок 3 (В)).

Исходя из второй исследовательской гипотезы о наличии грамматических эффектов P100 и N170 у подростков, мы не обнаружили данные эффекты. Также мы не обнаружили связи между размером лексического эффекта N170 и скоростью чтения (третья гипотеза), $b = -0,268$, 95% ДИ $[-0,747, 0,211]$, $SE = 0,242$, $\beta = -0,098$, $t(122) = -1,108$, $p = 0,270$. Регрессионная модель для амплитуды N170 не была статистически значимой, $F(5,122) = 1,33$, $p = 0,257$, множественный $R^2 = 0,052$, скорректированный $R^2 = 0,013$.

Четвертая гипотеза подтвердилась частично, так мы обнаружили связь скорости чтения с латентностью ранних компонентов P100 и N170, но не обнаружили связи с амплитудой данных компонентов.

Для латентности P100 мы обнаружили статистически значимый эффект скорости чтения, $b = -9,378$, 95% ДИ $[-14,209, -4,546]$, $SE = 2,362$, $\beta = -0,574$, $t(29) = -3,970$, $p < 0,001$. Как показано на Рисунке 4 (А), увеличение скорости чтения сопровождалось уменьшением латентности P100.

Для латентности N170 мы обнаружили статистически значимый эффект скорости чтения, $b = -10,704$, ДИ 95% $[-14,970, -6,438]$, $SE = 2,086$, $\beta = -0,691$, $t(29) = -5,131$, $p < 0,001$. Как показано на Рисунке 4 (В), увеличение скорости чтения сопровождалось уменьшением латентности N170.

Обсуждения результатов эмпирического исследования 1

В настоящем исследовании изучалась нейрофизиология обработки текста в подростковом возрасте, относительно малоизученном периоде развития. Мы зарегистрировали лексический эффект N170; амплитуда N170 на слова была больше, чем на псевдослова, хотя эффектов грамматичности ни для P100, ни для N170 обнаружено не было. Не было обнаружено связи между скоростью чтения и амплитудой этих компонентов, а также величиной лексического эффекта N170. Однако латентности компонентов P100 и N170 существенно коррелировали со скоростью чтения в нашей подростковой выборке.

В завершении второй главы приводятся **выводы** по результатам исследования 1:

1. Было установлено, что более высокая скорость чтения связана с более точным выполнением задачи грамматических суждений.
2. На нейрофизиологическом уровне скорость чтения отразилась в латентности ранних компонентов обработки слов (P100 и N170).
3. В исследовании апробирована экспериментальная парадигма с использованием задачи грамматических суждений, представленной в зрительной модальности без добавления слуховой ритмической стимуляции.

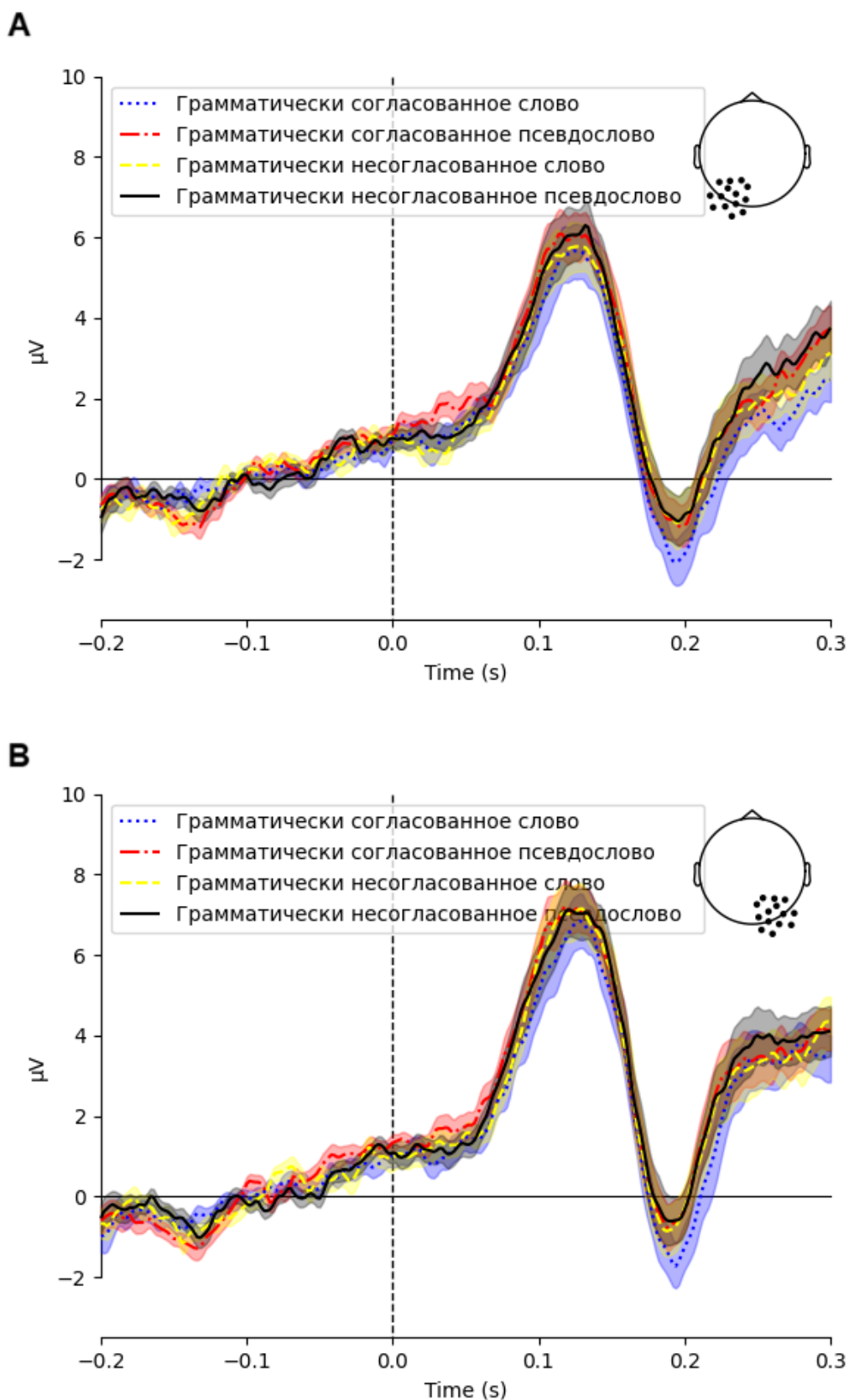


Рисунок 2 — Усредненные по группе ($N = 32$) вызванные потенциалы (ВП) для левого (A) и правого (B) полушарий. Вертикальная пунктирная линия соответствует началу предъявления стимулов. Синяя (пунктирная), красная (штрихпунктирная), желтая (пунктирная) и черная (сплошная) линии соответствуют условиям: грамматически согласованное слово, грамматически согласованное псевдослово, грамматически несогласованное слово и грамматически несогласованное псевдослово.

грамматически несогласованное псевдослово, соответственно. Полупрозрачные синие, красные, желтые и черные области иллюстрируют стандартную ошибку среднего. На топограммах головы точками обозначены все электроды областей интереса для левого полушария: P1, P3, P5, O1, O9, O11h, PO3, PO7, PO9, PPO1h, PPO5h, PPO9h, POO9h, POO1 и правого полушария: P2, P4, P6, O2, O10, O12h, PO4, PO8, PO10, PPO2h, PPO6h, PPO10h, POO10h, POO2.

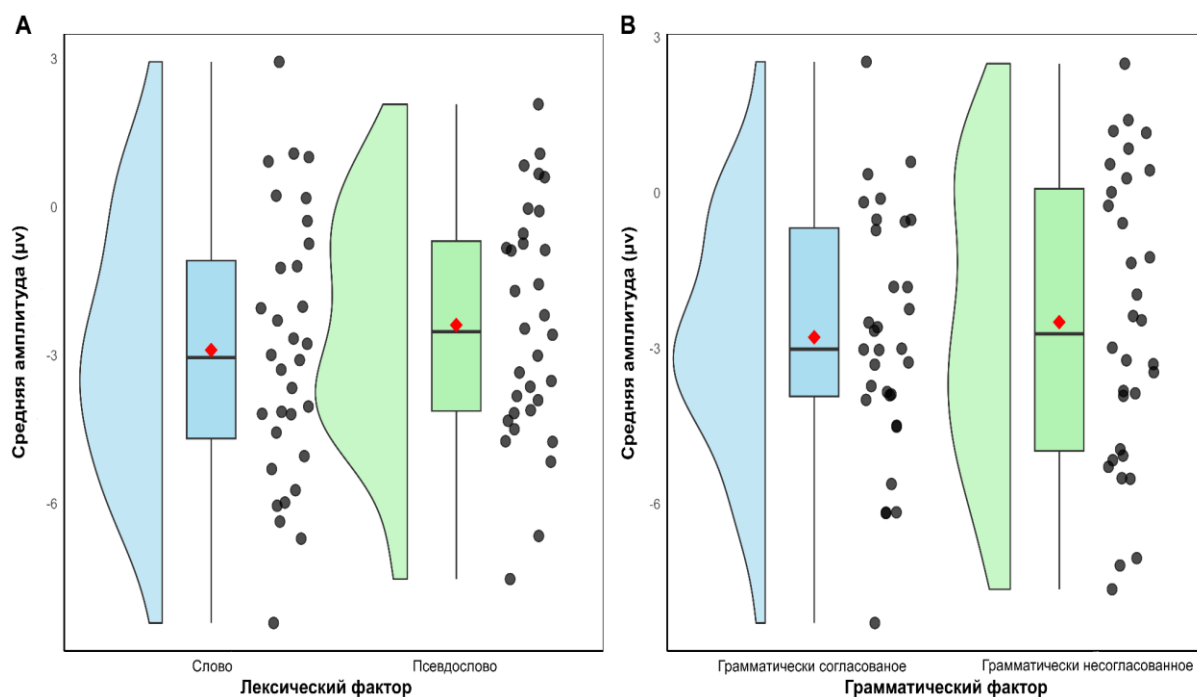


Рисунок 3 — Половинные скрипичные диаграммы и диаграммы размаха амплитуды N170 в зависимости от усредненного лексического фактора (А): слово ($M = -2,90$, $SD = 2,78$) / псевдослово ($M = -2,49$, $SD = 2,36$), грамматического фактора (В): грамматически согласованное ($M = -2,89$, $SD = 2,35$) / грамматически несогласованное ($M = -2,49$, $SD = 2,81$). Горизонтальные черные линии указывают медиану значений. Красные ромбы указывают среднее значение. Каждая точка соответствует отдельному участнику.

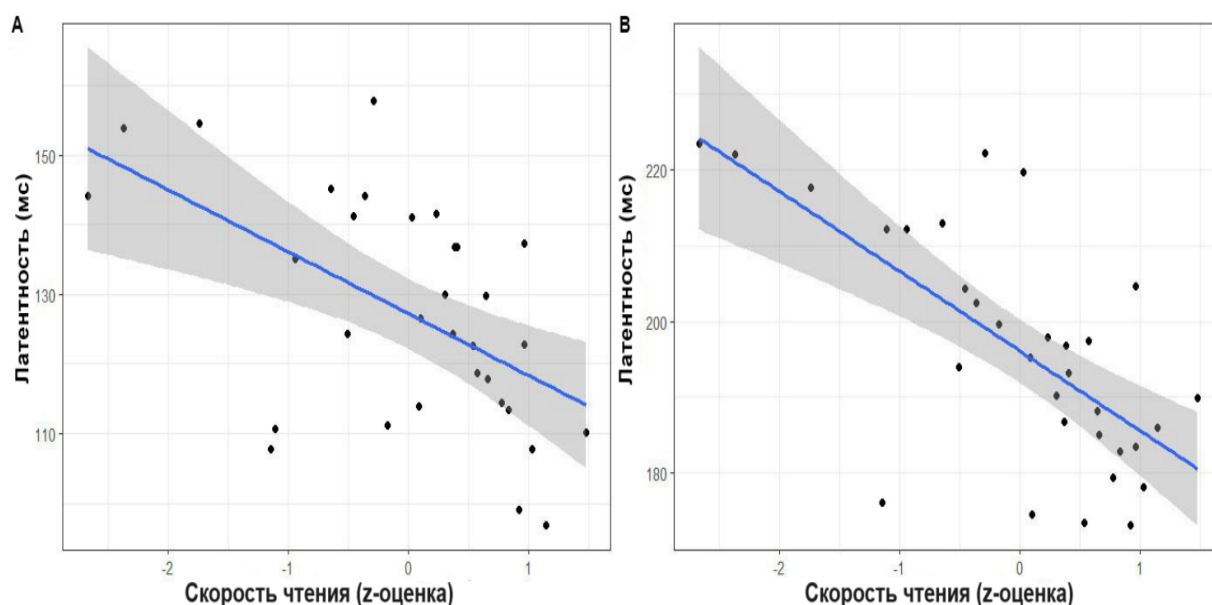


Рисунок 4 — Взаимосвязь латентности компонента P100 (А) и латентности компонента N170 (В) со скоростью чтения (z-оценка). Каждая точка соответствует отдельному участнику. Затененные планки погрешностей представляют одну стандартную ошибку среднего.

Третья глава «Влияние слуховой ритмической стимуляции на решение задачи грамматических суждений на поведенческом и нейрофизиологическом уровнях» посвящена описанию второго эмпирического исследования, целью которого являлось изучение влияния слуховой ритмической стимуляции на эффект фасилитации в задаче грамматических суждений в зрительной модальности на поведенческом и нейрофизиологическом уровнях.

Согласно динамической теории внимания (ДТВ), эффект фасилитации (ЭФ) является амодальным и может быть вызван не только слуховыми, но и зрительными ритмическими стимуляциями - как для слуховых, так и для зрительных задач (Jones, 2019). Однако в существующих исследованиях влияния ритмической стимуляции на решение задачи грамматических суждений, основная задача предьявлялась в слуховой модальности (Canette et al., 2020; Fiveash et al., 2020, Przybylski et al., 2013; Chern et al., 2018; Ladányi et al., 2021; Canette et al., 2019; Kim et al., 2024; György et al., 2024), и только в одном исследовании варьировалась модальность ритмической стимуляции (Fiveash et al., 2022). Кроме того, предыдущие исследования проводились только, базируясь на первом механизме избирательности внимания (Jones, 2019): длительной ритмической стимуляции без использования ритмических стимулов, согласованных по фазе с временной структурой основной задачи. Стоит отметить, что только в нескольких предыдущих исследованиях было включено контрольное условие (аудиозапись окружающей среды) (Canette et al., 2020; Ladányi et al., 2021; Bedoin et al., 2016). И только в одном исследовании было использовано контрольное условие тишины (György et al., 2024). Кроме того, большинство предыдущих исследований проводилось на франкоговорящих выборках детей и взрослых.

Задачей исследования 2, представленного в данной главе, является изучение влияния слуховой ритмической стимуляции на решение задачи грамматических суждений, предьявленной в зрительной модальности на поведенческом и нейрофизиологическом уровнях, на примере подростковой выборки 13-17 лет.

Были сформулированы следующие операциональные гипотезы и исследовательские вопросы:

1. Регулярно-согласованная ритмическая последовательность, которая была разработана в соответствии с лингвистической структурой предложений в зрительной задаче грамматических суждений (более подробно см. в разделе Музыкальные стимулы), будет вызывать наиболее сильный ЭФ (т.е. увеличивать эффективность выполнения задачи грамматических суждений, уменьшать время реакции и вариабельность ответов). Это связано с тем, что регулярно-согласованная ритмическая последовательность одновременно согласуется с обоими механизмами избирательности внимания, описанными в главе 1, что может в большей степени усилить синхронизацию внутренних колебаний с внешними ритмическими событиями.

2. Мы также ожидали обнаружить ЭФ в задаче грамматических суждений после регулярных ритмических последовательностей (т.е. увеличение эффективности выполнения задачи грамматических суждений, уменьшение время реакции и вариабельности ответов), воспроизводя эффект, обнаруженный в предыдущих исследованиях для задачи грамматических суждений в слуховой модальности.

3. Мы предположили, что нерегулярные ритмические последовательности будут вызывать обратный ЭФ (т.е. снижать эффективность выполнения задачи грамматических суждений, увеличивать время реакции и вариабельность ответов). Дополнительно мы ввели контрольное условие тишины, относительно которого анализировали увеличение или уменьшение ЭФ.

4. Кроме того, мы рассчитали коэффициент стабильности ритма чтения, который был неразрывно связан с чтением предложений в задаче грамматических суждений, представленных в зрительной модальности в самостоятельном темпе (self-paced). Этот коэффициент служит дополнительной мерой оценки ритмических навыков. Мы ожидали, что коэффициент стабильности ритма чтения участников будет зависеть от условий ритмической стимуляции. Регулярные условия прайминга будут приводить к более стабильному чтению, а нерегулярные к менее стабильному.

5. Мы ожидали, что эффективность выполнения задачи грамматических суждений (d' , c) будет связана с ритмическими навыками участников, измеряемыми как эффективность выполнения задачи на восприятие музыкального метра (музыкальный d' и музыкальный c).

6. Мы ожидали обнаружить связи между коэффициентом стабильности ритма чтения целевых и предцелевых стимулов и эффективностью выполнения задачи грамматических суждений (d' , c).

7. Мы ожидали обнаружить связь между коэффициентом стабильности ритма чтения целевых и предцелевых стимулов и эффективностью выполнения задачи на восприятие музыкального метра (музыкальный d' и музыкальный c).

В данном исследовании мы также изучили нейрофизиологические корреляты ЭФ в задаче грамматических суждений, предъявляемой в зрительной модальности. Поскольку данное исследование фокусируется на кросс-модальном эффекте, а точные пространственные и временные окна, в которых может проявляться ЭФ, остаются неизвестными, мы решили не использовать определенные зоны интереса. Вместо этого мы исследовали влияние слуховой ритмической стимуляции на грамматическую обработку с помощью подхода, основанного на перестановке кластеров. Этот непараметрический метод позволяет выявлять статистически значимые различия между условиями как в пространственной, так и во временной областях без необходимости априорных предположений о местоположении или времени эффекта.

8. Исследовательская гипотеза: Возможно ли обнаружить проявления ЭФ в зрительной задаче грамматических суждений после воздействия слуховой ритмической стимуляцией на нейрофизиологическом уровне у русскоязычных подростков?

Выборка исследования 2

Выборка состояла из 41 подростка в возрасте от 13 до 17 лет (средний возраст = 15,73 года, стандартное отклонение = 1,45, 31 девочка). Данные 5 участников по задаче восприятия музыкального метра были потеряны по техническим причинам; также 5 участников не смогли пройти протокол ЭЭГ по техническим причинам.

Задача Грамматических Суждений

Музыкальные стимулы

Две регулярные и две нерегулярные 32-секундные ритмические последовательности, использованные в данном эксперименте, применялись в нескольких предыдущих исследованиях (Canette et al., 2019; Fiveash et al., 2020; 2022). Мы также сгенерировали собственную 32-секундную регулярно-согласованную последовательность с темпом 120 ударов в минуту (2 Гц).

Задача Восприятия Музыкального Метра

Музыкальные стимулы

Слуховые ритмические последовательности были созданы на основе стимулов, использованных в предыдущем исследовании М. Хус и коллег (Huss et al., 2011). Задание включало 30 проб с различными метрическими аранжировками серии нот в темпе 120 ударов в минуту. В 13 пробах одна и та же серия нот проигрывалась дважды («одинаковые» пробы), в то время как в 17 пробах предъявлялись две разные серии нот («различающиеся» пробы), созданные путем удлинения акцентированной ноты с добавлением ферматы.

Процедура

В ходе выполнения задачи восприятия музыкального метра участники проходили тестирование индивидуально в светлой и тихой комнате. Им предлагалось прослушать два ритмических фрагмента, представленных последовательно, а затем ответить на вопрос: «Одинаковы ли эти два ритмических фрагмента или они различаются?». Если ритмы были одинаковыми, участники должны были нажать левую клавишу со стрелкой на клавиатуре; если ритмы различались, они должны были нажать правую клавишу со стрелкой. Стимулы предъявлялись через наушники Philips SBC HLI 45 с громкостью 60 дБ в псевдослучайном порядке.

Регистрация и предварительная обработка ЭЭГ в исследовании 2

Процесс записи ЭЭГ сигналов и их предварительная обработка осуществлялись в соответствии с методами, представленными во **второй главе**.

Компоненты, отражающие пики, связанные с глазными движениями, были удалены $M(SD) = 4,5(1,31)$. Усреднение вызванных потенциалов (ВП) для каждого условия грамматичности и ритмического прайминга проводилось независимо от правильности ответа (93,07%). Среднее количество эпох, усредненных по всем условиям грамматичности и ритмического прайминга, составило $M(SD) = 13,83(0,18)$.

Анализ данных исследования 2

Статистический анализ был выполнен в программном обеспечении R (R Core Team, 2020; версия 2023.03.01) и MNE Python 1.5 (Gramfort et al., 2013).

Эффективность выполнения задачи грамматических суждений и задачи на восприятие музыкального метра оценивалась с помощью теории обнаружения сигналов путем оценки чувствительности дискриминации (d' ; музыкальный d') и смещения ответа (c ; музыкальный c) для каждого участника. Расчеты основывались на попаданиях и ложных тревогах, при этом d' и музыкальный d' вычислялись как $z(\text{hit rate}) - z(\text{false alarm rate})$, а смещение ответа c и смещение ответа музыкального c вычислялись как $-0.5 \times (z(\text{hit rate}) + z(\text{false alarm rate}))$ (Macmillan and Creelman, 1991).

Также анализировались время реакции (ВР) и вариабельность ответов на целевые и предцелевые стимулы в задаче на грамматические суждения. Поскольку распределение ВР было смещено вправо, значения были логарифмически преобразованы, а значения, выходящие за пределы области 3.0 сигмы, были удалены (1.93% для целевых и 1.42% для предцелевых стимулов).

Мы вычислили коэффициент стабильности ритма чтения для каждого участника отдельно для целевых и предцелевых стимулов как отношение индивидуальных стандартных отклонений ВР, усредненных по всем условиям, к индивидуальному среднему ВР, усредненному по всем условиям.

Для изучения влияния условий прайминга на данные о чувствительности дискриминации d' и смещении ответа c был проведен однофакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями (ANOVA) 4 (регулярный vs. нерегулярный vs. регулярно-согласованный vs. контрольный).

Для изучения влияния условий грамматичности и прайминга на время реакции, вариабельность ответов и коэффициент стабильности ритма чтения для целевых стимулов были проведены двухфакторные дисперсионные анализы с повторными измерениями (ANOVA) 2 (грамматический vs. неграмматический) \times 4 (регулярный vs. нерегулярный vs. регулярно-согласованный vs. контрольный).

Для изучения влияния условий прайминга на время реакции, вариабельность ответов и коэффициент стабильности ритма чтения для предцелевых стимулов были проведены однофакторные дисперсионные анализы с повторными измерениями (ANOVA), где также было четыре уровня фактора прайминга: регулярный vs. нерегулярный vs. регулярно-согласованный vs. контрольный.

Мы использовали парциальные корреляции Пирсона для изучения взаимосвязей между поведенческими переменными при контроле возраста участников.

Для изучения эффекта грамматичности в зависимости от условий прайминга был проведен непараметрический парный t -тест на уровне кластеров с использованием 1000 перестановок для контраста условий грамматический vs. неграмматический для каждого условия прайминга. Предварительные интервалы (зоны интереса) не выбиралась и поиск кластеров производился на интервалах от 0 до 1100 мс.

Результаты эмпирического исследования 2

Эффект фасилитации

Первая, вторая, третья и четвертая гипотезы в рамках данного исследования не были подтверждены, однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) не выявил основного эффекта условий прайминга, для d' , $F(3,120) = 1,15$, $p = 0,334$, $\eta^2 = 0,028$ (см. панель (A) на Рисунке 5) и c , $F(3,120) = 1,68$, $p = 0,255$, $\eta^2 = 0,040$ (см. панель (B) на Рисунке 5).

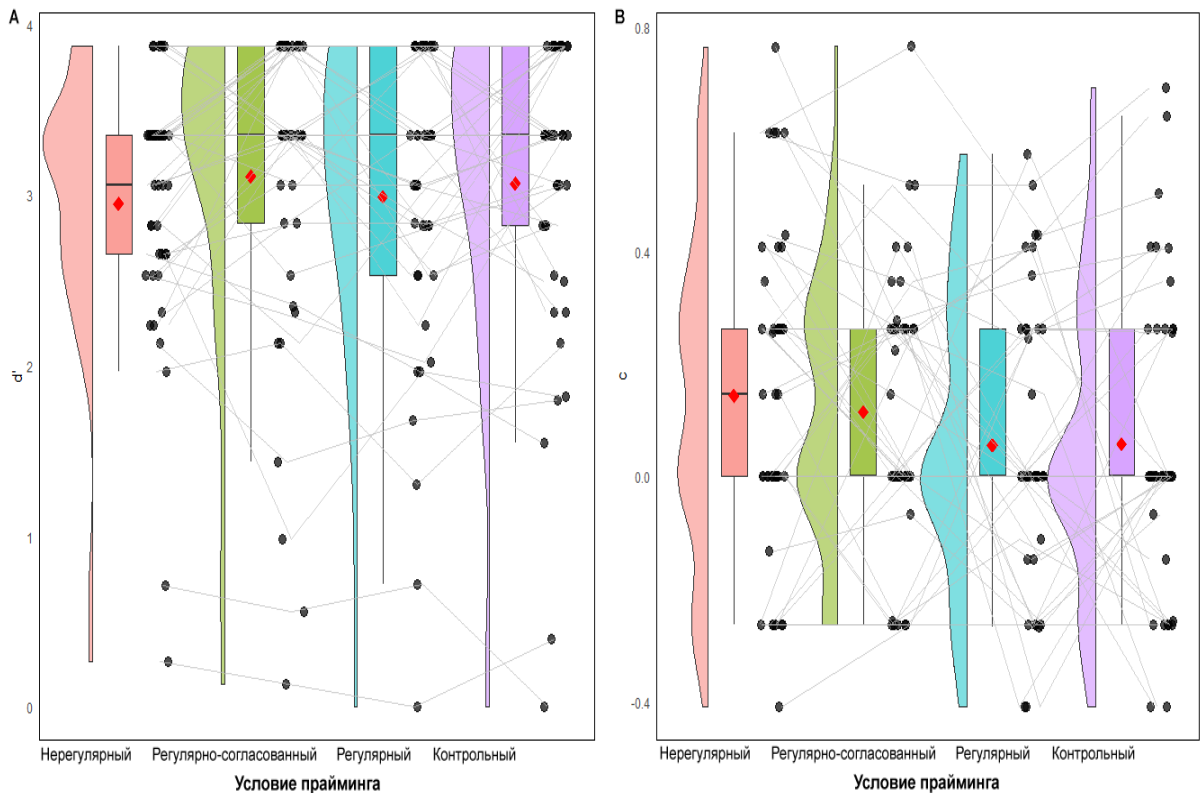


Рисунок 5 — Половинные скрипичные диаграммы и диаграммы размаха отображают распределения эффективности выполнения задачи грамматических суждений в зависимости от условий прайминга. По оси Y обозначены показатели эффективности выполнения задачи грамматических суждений: (A) d' (чувствительность дискриминации), (B) c (смещение ответа). По оси X обозначены условия прайминга: нерегулярный = ритмическая последовательность без временных закономерностей, регулярный = ритмическая последовательность с ясной метрической структурой, регулярно-согласованный = ритмическая последовательность с ясной метрической структурой, соответствующей лингвистическим предложениям, контрольный = условие тишины. Горизонтальные черные линии указывают медиану значений. Красные ромбы указывают среднее значение. Точки и серые линии представляют значения отдельных участников.

Однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) для времени реакции, вариабельности ответов и коэффициента стабильности ритма чтения на целевые и предцелевые стимулы не показал статистически значимых эффектов условия прайминга.

Связь между ритмическими и грамматическими навыками

Пятая и седьмая гипотезы не были подтверждены. Мы не обнаружили корреляции между эффективностью выполнения задачи грамматических суждений (d' , c) и эффективностью выполнения задачи на восприятие музыкального метра (музыкальный d' , музыкальный c). Коэффициент стабильности ритма чтения предцелевых и целевых стимулов не был связан с эффективностью выполнения задачи на восприятие музыкального метра (музыкальный d' , музыкальный c).

Шестая гипотеза подтвердилась частично. Коэффициент стабильности ритма чтения целевых стимулов не был связан с эффективностью выполнения задачи грамматических суждений (музыкальный d' , музыкальный c). Однако мы обнаружили, что коэффициент стабильности ритма чтения предцелевых стимулов, был связан с эффективностью выполнения задачи грамматических суждений: участники с более стабильным ритмом чтения предцелевых стимулов продемонстрировали более высокую чувствительность дискриминации (d') в задаче грамматических суждений (см. Рисунок 6). Мы не наблюдали никаких других статистически значимых корреляций между поведенческими переменными, представляющими интерес (см. Таблицу 1).

евые стимулы)											
3.d'	3,02 9	0,80 8	0,20	3,88	0,057	0,544 ***	1				
4.c	0,09 3	0,18 4	-0,20	0,61	-0,119	-0,1 57	-0,263	1			
5.Музык альный d'	2,00 4	0,91 2	-5,36	2,40	-0,192	0,206	0,246	0,226	1		
6.Музык альный c	0,01 7	0,20 9	-3,59	0,27	0,229	0,116	0,272	0,112	0,211	1	
7.Возрас т	15,7 3	1,45	13,16	17,8 9	0,113	0,423 **	0,535 ***	-0,3 93*	0,451 **	-0,2 04	1

Примечание — M = среднее, SD = стандартное отклонение, Min = минимум, Max = максимум. Коэффициент стабильности ритма чтения = отношение индивидуального стандартного отклонения среднего времени реакции, усредненного по всем условиям, к среднему времени реакции, усредненному по всем условиям, d' = чувствительность дискриминации в задаче грамматических суждений, c = смещение ответа в задаче грамматических суждений, музыкальный d' = чувствительность дискриминации в задаче на восприятие метра, музыкальный c = смещение ответа в задаче на восприятие музыкального метра. * $p < 0,05$. $p < 0,01$. ** $p < 0,001$.

Нейрофизиологические данные

В результате анализа электрической активности мозга в ходе выполнения зрительной задачи грамматических суждений после прослушивания различных условий слуховой ритмической стимуляции мы обнаружили, что только нерегулярная ритмическая стимуляция модулировала поздний грамматический эффект, проявляющийся в увеличении негативности амплитуды вызванных потенциалов в лобно-центральных областях (см. Рисунок 7) примерно через 600 мс после начала предъявления неграмматического целевого стимула по сравнению с грамматическим целевым стимулом, что соответствует позднему компоненту N600 (см. Рисунок 8 (А)).

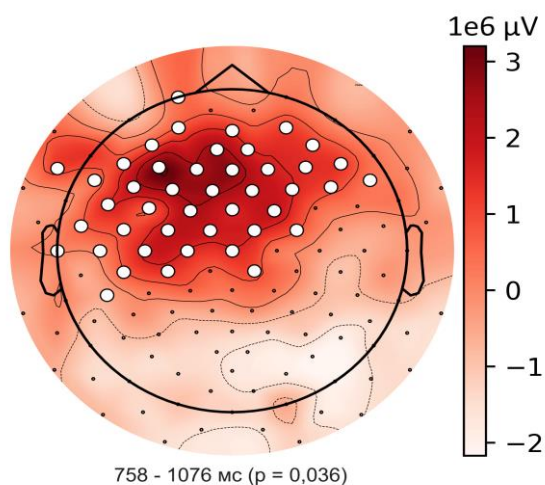


Рисунок 7 — Топография скальпа статистически значимого кластера для условия нерегулярной ритмической стимуляции. Электроды, принадлежащие кластеру, обозначены белой точкой.

Обсуждения результатов эмпирического исследования 2

Отсутствие поведенческих доказательств эффекта ритмического прайминга на грамматическую обработку в кросс-модальном дизайне

Поведенческий анализ не выявил эффекта фасилитации: эффективность выполнения задачи не зависела от условий прайминга. Однако, обнаружена связь между коэффициентом стабильности ритма чтения предцелевых стимулов и чувствительностью дискриминации (d') в задаче грамматических суждений.

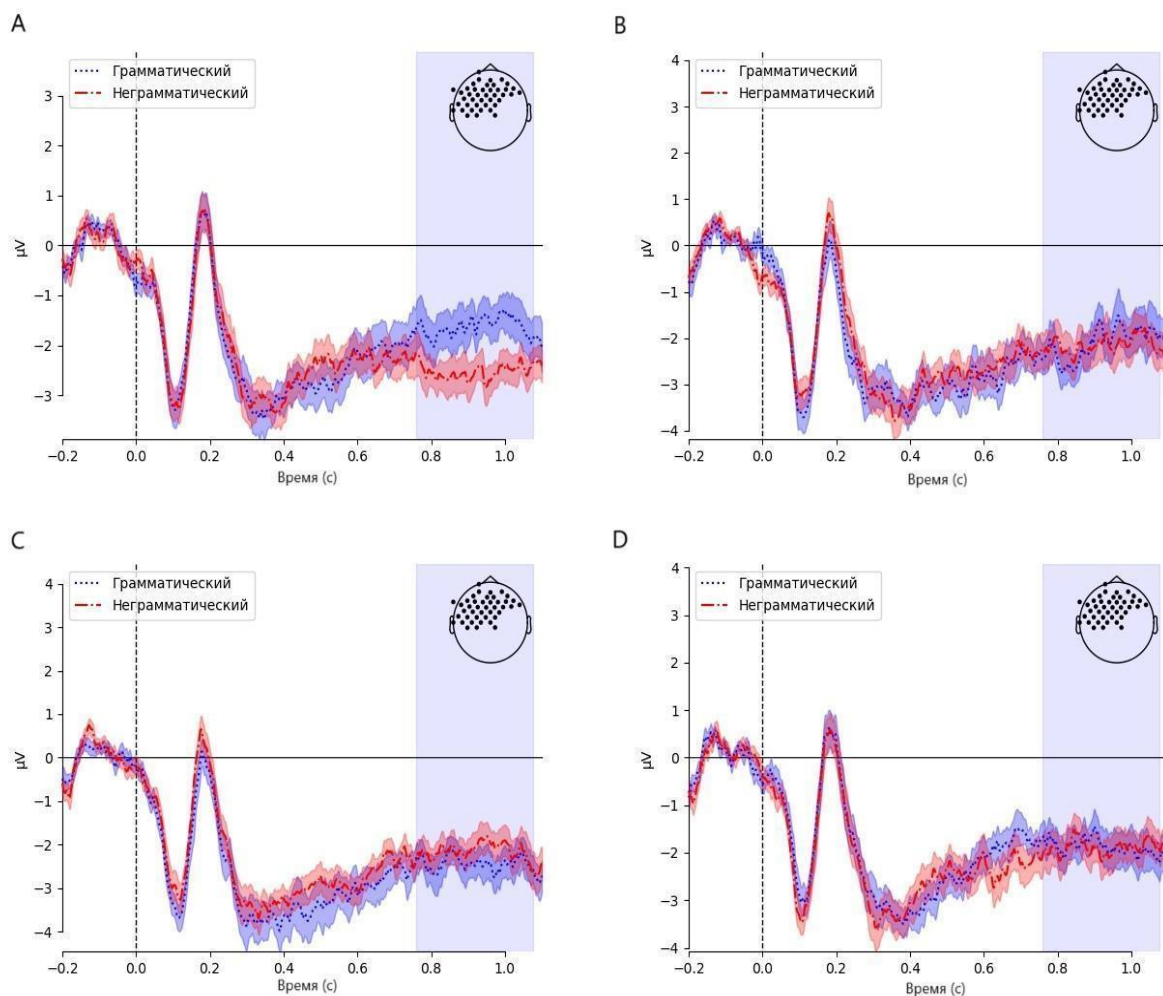


Рисунок 8 — Усредненные по группе ($N = 36$) вызванные потенциалы (ВП) для условий (А) Нерегулярный, (В) Регулярный, (С) Регулярно-Согласованный, (D) Контрольный. Синие (пунктирные) и красные (штрихпунктирные) линии обозначают ВП для грамматического и неграмматического условий, соответственно. Полупрозрачные синие и красные области иллюстрируют стандартную ошибку среднего. Вертикальная пунктирная линия соответствует началу стимулов. Диапазон латентности статистически значимого кластера обозначен вертикальной синей полосой. Карты головы с точками указывают на все электроды статистически значимого кластера для условий нерегулярной ритмической стимуляции, которые были усреднены для построения ВП.

Эксплораторный анализ

Был проведен дополнительный статистический анализ связи между коэффициентом стабильности ритма чтения (предцелевые стимулы) и d' с использованием непараметрического теста Кенделла. Результаты теста показали отсутствие статистически значимой связи между коэффициентом стабильности ритма чтения (предцелевые стимулы) и d' , $r(39) = 0,123$, $p = 0,265$. Таким образом, в условиях высокой гомогенности нашей выборки мы не можем сделать однозначный вывод о наличии связи между данными переменными.

Мы провели дополнительный статистический анализ влияния слуховой ритмической стимуляции на выполнение задачи грамматических суждений с использованием метод линейного смешанного моделирования (LMER) с включением фактора порядка предложений (первые 6/вторые 6 предложений) в модель. Фактор прайминга и фактор порядка предложений и их взаимодействия были включены в качестве фиксированных эффектов. Зависимыми переменными являлись показатели эффективности выполнения задачи грамматических суждений (оценка чувствительности дискриминации (d'), смещения ответа (c)). Случайный перехват был включен для участников (1| участники) для учета индивидуальных различий. В качестве интерсепта было установлено контрольное условие тишины, а также первые 6 предложений.

Модели линейной регрессии смешанных эффектов были построены в программном обеспечении R (R Core Team, 2020; версия 2023.03.01), используя пакет lme4 (Bates et al., 2015).

Модель для чувствительности дискриминации (d') была реализована с помощью функции lmer:

$lmer(d' \sim \text{Фактор прайминга} * \text{Порядок предложений} + (1 | \text{участники}), \text{data} = \text{data}).$

Модель для смещения ответа (c) была реализована с помощью функции lmer:

$lmer(c \sim \text{Фактор прайминга} * \text{Порядок предложений} + (1 | \text{участники}), \text{data} = \text{data}).$

Мы обнаружили, что участники хуже справлялись с задачей грамматических суждений после прослушивания нерегулярного ритма относительно контрольного условия, $b = -0,191$, $SE = 0,096$, $t(280) = -1,985$, $p = 0,0481$. Для других условий прайминга, фактора порядка предложений или взаимодействия фактора прайминга или фактора порядка предложений не было обнаружено значимых фиксированных эффектов. Мы также не обнаружили значимых фиксированных эффектов для смещения ответа (c) ни для одного из факторов или их взаимодействия.

Эффект фасилитации на нейрофизиологическом уровне

Анализ психофизиологических данных показал специфическое влияние нерегулярной ритмической стимуляции, которое выразилось в увеличении поздней негативности в ответ на неграмматическое условие.

В завершении третьей главы приводятся **выводы** по результатам исследования 2:

1. В исследовании не был обнаружен эффект фасилитации в задаче грамматических суждений после воздействия слуховой ритмической стимуляции у русскоязычных подростков. Полученные результаты предполагают, что кросс-модальный дизайн, а также языковые и возрастные факторы могут влиять на эффективность регулярной ритмической стимуляции.

2. В результате эксплораторного анализа с включением фактора порядка предложений в смешанную линейную модель мы обнаружили, что эффективность выполнения задачи грамматических суждений после прослушивания нерегулярного ритма была ниже по сравнению с контрольным условием, что не наблюдалось в других условиях прайминга.

3. Нерегулярная ритмическая стимуляция также вызывала увеличение негативности амплитуды вызванных потенциалов в лобно-центральных областях, что может указывать на увеличение когнитивной нагрузки.

В заключении обобщаются результаты диссертационного исследования и формулируются выводы.

Результаты диссертационного исследования расширяют понимание эффекта фасилитации и его зависимости от внешних и внутренних факторов, подчеркивают важность учета индивидуальных особенностей участников при изучении процессов обработки грамматических структур и развития навыков чтения, а также указывают на необходимость дальнейших исследований в этой области с использованием нейрофизиологических методов и учетом различных факторов.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

1. Провести сравнительный анализ эффекта фасилитации в задаче по оценке грамматической согласованности предложений после ритмической стимуляции в разных

возрастных группах. Это поможет выявить возможные возрастные особенности в восприятии и обработке ритмической информации и ее влияние на языковые процессы.

2. Провести кросс-лингвистическое исследование эффекта фасилитации в задаче по оценке грамматической согласованности предложений после ритмической стимуляции на разных языках. Это даст возможность выявить универсальные и специфические для каждого языка эффекты ритма на языковые процессы.

3. Осуществить систематический обзор и мета-анализ существующих исследований о влиянии ритмической стимуляции на когнитивные процессы. Это позволит обобщить имеющиеся данные, оценить их согласованность и определить направления для дальнейших исследований.

4. На основе полученных результатов разработать практические рекомендации по использованию ритмической стимуляции в образовательных и клинических целях, например, для улучшения языковых навыков у детей или в процессе реабилитации пациентов с нарушениями речи.

ВЫВОДЫ

1. Временной аспект чтения, отраженный в показателях скорости чтения, связан с точностью выполнения задачи понимания грамматичности предложений: более быстрые читатели лучше справляются с задачей грамматических суждений. А на нейрофизиологическом уровне скорость чтения отражается в латентности ранних компонентов P100 и N170. Этот результат согласуется с данными о том, что временные механизмы активируются не только при обработке ритма в музыке и речи, что предполагает концепция PRISM (см. обзор Fiveash et al., 2021), но и участвуют в процессе чтения.

2. Эффект фасилитации в задаче грамматических суждений в зрительной модальности не был обнаружен, что предположительно связано с модальной, языковой или возрастной специфичностью эффекта.

3. В результате проведения эксплораторного анализа был обнаружен нерегулярный ритмический эффект. Эффективность выполнения задачи грамматических суждений снижалась относительно контрольного условия тишины, что указывает на увеличение когнитивных требований к задаче грамматических суждений после прослушивания ритмической стимуляции нерегулярного типа. Данный эффект отражался на нейрофизиологическом уровне в виде поздней негативности с лобно-центральной локализацией.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. **Маркевич, М. О.** Обзор современных исследований эффекта фасилитации внимания в рамках динамической теории внимания: проблемы и перспективы / **М. О. Маркевич, О. В. Сысоева** // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Психология и педагогика. — 2024. — Т. 21. — № 1. — С. 76-95, DOI: 10.22363/2313-1683-2024-21-1-76-95 (K1)

Публикации, опубликованные в изданиях, индексируемых в международных базах данных:

2. **Markevich, M.** Neurophysiological markers of printed word processing and reading fluency in adolescence / **M. Markevich, A. Rebreikina, T. Logvinenko, O. Sysoeva, E. L. Grigorenko** // Language, Cognition and Neuroscience. — 2024. — С. 1-14, DOI: 10.1080/23273798.2024.2375217 (Scopus, Q1)

3. **Markevich, M.** How Does Musical Rhythm Influence Grammatical Processing at the Neurophysiological Level? / **M. Markevich, A. Rebreikina, T. Logvinenko, E. L. Grigorenko, O. Sysoeva** // NeuroReport. — 2024. — Т. 35. — № 14. — С. 915-920, DOI: 10.1097/WNR.0000000000002081 (Scopus, Q3)

Публикации в других изданиях:

4. **Markevich, M.** Rhythmic structure of reading and cross-modal priming effect of rhythm on grammatical judgements / **M. Markevich, T. Logvinenko, A. Rebreikina, O. Sysoeva** // 2022 Fourth International Conference Neurotechnologies and Neurointerfaces (CNN). — 2022. — С. 93-96, DOI: 10.1109/CNN56452.2022.9912552

5. **Маркевич М.О.** Влияние Аудиальной Ритмической Стимуляции На Грамматические Процессы: Кросс-Модальное Исследование / **М.О. Маркевич, А.А. Жунусов, А.Б. Ребрейкина, Т.И. Логвиненко, О.В. Сысоева** // КОГНИТИВНАЯ НАУКА В МОСКВЕ: НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. — 2023. — № 7. — С. 300-305.

6. Терехова А.В. Эффект Аудиального Ритмического Прайминга На Процесс Слухового И Зрительного Внимания. Кросс-Модальное Исследование / **А.В. Терехова, С.В. Анфалова, Е.Е. Нефельд, М.В. Чиркеева, Е.А. Шушкова, М.О. Маркевич** // КОГНИТИВНАЯ НАУКА В МОСКВЕ: НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. — 2023. — № 7. — С. 461-465.

Подписано в печать 14.11.2024
Формат 60 x 90 1/16. Печ. л. 1,5
Тираж 30 экз. Заказ № 2042989

Отпечатано в типографии «Сору.ги»
354340, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Демократическая 27А