



DOI: 10.22363/2313-1683-2025-22-2-289-315

EDN: UVSDER

УДК 159.91

Исследовательская статья

Психофизиологические механизмы внутреннего проговаривания при заикании

А.В. Вартанов¹✉, А.А. Кисельников¹, В.Д. Абросимова¹,
В.М. Зубко¹, Д.А. Леонович², О.В. Шевалдова³, М.Д. Крысько⁴

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

² Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Москва, Российская Федерация

³ Федеральный исследовательский центр оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий, Москва, Российская Федерация

⁴ Институт психологии имени Л.С. Выготского, Российский государственный гуманитарный университет, Москва, Российская Федерация

✉ a_v_vartanov@mail.ru

Аннотация. Выявление психофизиологических механизмов внутреннего проговаривания у здоровых людей позволит улучшить работу современных интерфейсов мозг — компьютер, использующих распознавание мыслительных команд. Изучение мозговых механизмов внутреннего проговаривания у людей с заиканием позволит приблизить решение вопроса о причинах данного дефекта речи и создать новые или улучшить существующие способы его коррекции. Цель исследования — сравнение психофизиологических механизмов внутреннего проговаривания и восприятия слов у людей в норме и при заикании. У 35 человек (25 норма, 10 заикающиеся) регистрировалась 19-канальная ЭЭГ при выполнении задания на прослушивание и внутреннее проговаривание четырех слов (*сахар, шашлык, ракета, р'акета*). Анализ записей проводился с помощью нового метода — «виртуально вживленный электрод» (Патент RU 2 785 268 С1, разработчик А.В. Вартанов), с помощью которого была реконструирована активность в ряде областей мозга, в том числе в шести областях интереса: зона Брука, зона Вернике и симметричные им области мозга справа, а также мозжечок билатерально. Полученные данные активности сравнивались у групп нормы и людей с заиканием. Сравнение выявило значимые различия реконструированной электрической активности с акцентом на гиперактивацию у заикающихся по сравнению с группой контроля при прослушивании и внутреннем проговаривании слов: в зоне Брука, симметричной ей зоне справа, а также в коре мозжечка билатерально. Таким образом, процесс восприятия и внутреннего проговаривания слов у группы нормы и заикающихся отличается. Значимые различия реконструированной электрической активности в зоне Брука можно объяснить ее непосредственным участием

© Вартанов А.В., Кисельников А.А., Абросимова В.Д., Зубко В.М., Леонович Д.А.,
Шевалдова О.В., Крысько М.Д., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

в продуцировании речи, а в коре мозжечка — его вспомогательной ролью в реализации моторного компонента речи. Отсутствие различий в зоне Вернике можно рассматривать как следствие отсутствия слуховой обратной связи при внутреннем проговаривании.

Ключевые слова: внутреннее проговаривание, заикание, реконструированная электрическая активность, виртуально вживленный электрод, зона Брука, зона Вернике

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 20-18-00067-П.

Введение

Мозговые механизмы внутренней речи, и в частности одной из её форм – внутреннего проговаривания (произнесения слов без вокализации), в настоящее время находятся в фокусе исследований нейронаук. Однако чаще всего их изучение проводится на здоровых людях, хотя известно, что организация какого-либо механизма может подтверждаться данными его нарушений. Именно поэтому актуальными на сегодняшний день являются исследования внутреннего проговаривания у людей с различными дефектами речи, в том числе у людей с заиканием. Актуальность исследования внутреннего проговаривания у здоровых людей связана с возможностью дальнейшего построения языковых декодеров, а у людей с заиканием — с возможностью глубокого анализа нарушения психофизиологических механизмов речи для успешной коррекции заикания.

Заикание представляет собой нарушение речи, которое характеризуется ее прерыванием, частым повторением звуков и фиксированным стереотипом движений артикуляционного аппарата (согласно ICD-10¹). Необходимы новые методы коррекции заикания, так как оно остается трудно исправимым дефектом речи, который наблюдается примерно у 1–2,5 % населения (Karpova et al., 2023).

Немаловажным условием в продуцировании внешней и внутренней речи является процесс восприятия речи. У здоровых людей изучены системы мозга, которые участвуют в восприятии речи (Hickok, Poeppel, 2007). В большинстве своем они локализованы в левом полушарии у праворуких людей. При восприятии речи активируются как широкие сети восприятия слуховой информации (расположенные в мозге билатерально), так и системы по выделению грамматических и семантических компонентов речи (расположенные в левом полушарии). Также зарегистрирована активация моторных областей коры, которая может указывать на то, что восприятие речи включает в себя процесс представления артикуляционного жеста, соответствующего воспринятым словам (Chang et al., 2009).

Исследования показали, что процесс восприятия речи у людей с заиканием отличается от нормы. Так, с помощью фМРТ было показано, что у людей с заиканием в процессе восприятия речи регистрируется меньшая активация в угловой извилине и некоторых моторных областях, особенно в первичной

¹ International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, 10th Revision. Version: 2019. URL: <https://icd.who.int/browse10/2019/en> (accessed: 03.04.2024)

моторной коре и дополнительной моторной области, то есть наблюдается снижение совместной слухомоторной активации. Также у людей с заиканием наблюдается меньшая активация лобной и височно-теменной областей по сравнению с контрольной группой (Chang et al., 2009). Другое исследование показало, что люди с заиканием справлялись с задачей на восприятие речи хуже, чем контрольная группа, что было связано с разницей в функциональной активности левого переднего остривка, который является частью речемоторной области (Lu et al., 2016). Это же исследование показало, что эффективная (каузальная) связность в состоянии покоя между левым передним остривком, левой нижней лобной извилиной и областью в левой первичной слуховой коре (извилина Гешля) значительно отличалась у людей с заиканием и группы нормы, а сила связности значимо коррелировала с результатами тестирования на восприятие. Авторы объясняют полученные результаты следующим образом: трудности с восприятием речи у заикающихся связаны с аномальной функциональной активностью в речемоторной области, и измененная функциональная связь этой области со слуховой корой играет определенную роль в трудностях восприятия речи у заикающихся (Lu et al., 2016). Другие авторы также указывают на то, что нарушение психофизиологических механизмов восприятия у людей с заиканием может являться следствием дисфункции системы слуховой обратной связи (Zhang et al., 2022). Нарушения в восприятии речи у людей с заиканием также связывают с аномальной активацией областей мозга, которые должны работать при производстве речи, в том числе левой нижней лобной коры, частью которой является зона Брука, и правой роландовой области (Biermann-Ruben, 2005).

Исследования внутренней речи часто проводятся как исследования внутреннего проговаривания, хотя эти два термина различны. *Внутренняя речь* в отечественной психологии определяется как «речевое действие, перенесенное „вовнутрь“, производимое в свернутой, редуцированной форме» (Глухов, 2005, с. 222). Она может сопровождаться внутренним проговариванием, что их и объединяет, однако также может представлять собой только отдельные речедвигательные и другие признаки слов, а не сами слова. *Внутреннее проговаривание* можно назвать одной из форм внутренней речи, которая «предполагает наличие скрытой речедвигательной активности органов артикуляции, имитирующей процессы, происходящие при внешней речи» (Глухов, 2005, с. 222). Процесс внутреннего проговаривания заключается в развернутости умственного действия, в отличие от автоматизированности внутренней речи (Глухов, 2005). Таким образом, в данной работе ключевым является именно термин «внутреннее проговаривание».

Психофизиологические исследования также определяют внутреннее проговаривание как представление произнесения слова без сопутствующих движений артикуляторного аппарата (губ, языка). В первую очередь с внутренним проговариванием ассоциируются основные мозговые центры речи — моторная и премоторная кора в лобной доле, включая область Брука. При этом важны и области восприятия речи, а именно двусторонние слуховые области, включая зону Вернике (Гавриленко и др., 2019; Inner speech..., 2018). Кроме

того, важны ассоциативные области коры, левая нижняя теменная долька и левая супрамаргинальная извилина (Inner speech..., 2018). Внешняя речь связана с более сильной активацией этих областей, однако их активность есть и при внутренней речи (Гавриленко и др., 2019). Некоторые авторы объясняют эту активацию как результат подавления артикуляции во время внутреннего проговаривания (Inner speech..., 2018). Кроме того, при внешней речи наблюдается намного большая слуховая сенсорная активация, которая может быть связана с анализом собственной речи (Alderson-Day et al., 2016).

Внутренняя речь активирует области, не работающие при внешней речи. Они связаны с подавлением открытой реакции: поясная извилина и левая средняя лобная извилина. Важной особенностью внутренней речи может служить своего рода моторная имитация речи, включающая моторное планирование, но исключающая моторное исполнение (Inner speech..., 2018). Другие авторы уточняют, что внутренняя речь активирует области мозга, связанные с воспроизведением и пониманием внешней речи: левая нижняя лобная извилина, дополнительная моторная область и верхняя и средняя височные извилины (McGuire et al., 1996; Alderson-Day et al., 2016). Некоторые декодеры также рассчитаны на расшифровку внутренней речи по активности данных областей (Martin et al., 2018). В то же время некоторые исследователи показывают, что зона Брука деактивируется во время внутренней речи, в отличие от внешней, а одну из ключевых ролей в продуцировании внутренней речи может играть дорсальная сенсомоторная кора, как субрегион моторной коры. Утверждается, что функциональные связи дорсальной сенсомоторной коры усиливаются при внутренней речи. Авторы объясняют, что эта область коры может являться ключевым узлом сети речевых образов и, вероятно, участвует в сенсомоторной обработке информации во время внутренней речи (Si et al., 2021).

Недавние исследования показали, что кроме классических речевых зон существуют зоны, которые дополнительно обеспечивают внутреннюю речь, в том числе гиппокамп и бледный шар, а также мозжечок (Шевченко, Вартанов, 2022). В исследовании была отмечена активация как правого, так и левого мозжечка при внутреннем произношении слогов и фонем (по сравнению с внешним произношением). Кроме того, мозжечок активировался в заданиях на прослушивание по сравнению с фоном. Авторами был сделан вывод, что вспомогательная роль мозжечка проявляется на уровне не только внешней речи, но и внутренней и дифференцируется на уровне фонематических единиц (фонемы, слоги и т.д.): чем сложнее единица, тем больше проявляется роль мозжечка (Шевченко, Вартанов, 2022).

Исследования внутренней речи у людей с заиканием составляют гораздо меньший процент по отношению к исследованиям внутренней речи здоровых людей. Одно ПЭТ-исследование выявило повышенную активацию в левой передней поясной извилине у людей с заиканием по сравнению с группой нормы (De Nil et al., 2000). В норме эта область также активируется при внутренней речи, возможно, для подавления открытой внешней реакции (Inner speech..., 2018). Авторы предполагают, что в левой передней поясной коре

могут реализовываться процессы избирательного внимания и скрытой артикуляции и уточняют, что наблюдаемая повышенная активация данной зоны у заикающихся людей отражает наличие когнитивных упреждающих реакций, связанных с заиканием. Также исследование показало общую атипичную латерализацию речевых процессов у заикающихся людей справа (De Nil et al., 2000). Исследование с помощью метода ЭЭГ также выявило различия в мозговой активности при чтении про себя у людей с заиканием и здоровых людей, авторы предполагают возможное снижение доступа к словарному запасу у людей с заиканием (Weber-Fox, 2001).

Анализ данных современной литературы позволяет заключить, что заикание представляет собой сложное нейрофизиологическое расстройство, в основе которого лежит нарушение взаимодействия между сенсорными и моторными отделами речевой системы (De Nil et al., 2000, Weber-Fox, 2001). Многочисленные исследования с применением нейровизуализации (фМРТ, ПЭТ) и электроэнцефалографии (ЭЭГ) демонстрируют ряд особенностей функционирования мозга у заикающихся: гиперактивация правого полушария, атипичная латерализация речевых функций, изменения активности в областях, связанных с моторным контролем (дополнительная моторная кора, премоторная кора, островковая доля), а также нарушения в работе базальных ганглиев и мозжечка (Chang et al., 2009). Кроме того, выявлены структурные и функциональные различия в белом веществе, соединяющем ключевые речевые зоны (Zhang et al., 2022). Несмотря на значительный прогресс в изучении внешней речи при заикании, внутренняя речь, и в частности внутреннее проговаривание, остаются малоизученными. Критически не хватает данных о том, сохраняются ли выявленные аномалии на уровне скрытой, неозвученной речевой деятельности. Существенным пробелом является отсутствие исследований, направленных на изучение временной динамики нейрофизиологических процессов при заикании, что не позволяет понять, на каких именно этапах речевого производства (планирование, инициация, моторное исполнение) возникают основные трудности.

Данные о психофизиологической активности при внутреннем проговаривании получены на разном оборудовании и разными методами, что указывает на их достоверность: ЭЭГ (Гавриленко и др., 2019), фМРТ (Alderson-Day et al., 2016), ПЭТ (McGuire et al., 1996), фНИРС (Si et al., 2021). Однако каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки — методы ПЭТ и фМРТ дают хорошее пространственное разрешение, но плохое разрешение по времени, тогда как метод ЭЭГ, наоборот, имеет высокое динамическое разрешение, а пространственная локализация источников представляет существенную проблему (Вартанов, 2023). Проблема пространственной локализации по данным ЭЭГ заключается в том, что сигналы от глубинных структур мозга на скальповых электродах смешиваются (суммируются с разными весами), в результате чего трудно определить, активность какой именно мозговой структуры мы наблюдаем (Вартанов, 2023). Эта проблема усугубляется еще и тем, что нет полного согласия об источниках и модели генерации электрических потенциалов, регистрируемых на поверхности скальпа (Вартанов, 2023).

К настоящему времени разработано достаточно много различных алгоритмов поиска источников внутри головы по данным скальповой ЭЭГ (см. обзор: Иванов, 2023), но все они страдают от общей проблемы — проблемы неопределенности (неоднозначности) получаемого решения.

Однако разработанный недавно новый метод «виртуально вживленный электрод» (патент РФ № 2785268), который подробно представлен в работах первого автора статьи (Вартанов, 2023; Vartanov, 2022), позволяет по данным низкочастотной скальповой ЭЭГ реконструировать электрическую активность, источник которой располагается в определенном, заранее указанном в качестве «области интереса», месте внутри головы. Данный метод использует стратегию пространственной фильтрации. Его цель — не аппроксимация всего массива данных, а извлечение компонента, генерируемого в определенной локации. Для этого применяется пространственный фильтр, сконфигурированный на основе расположения источника, а не его частотных характеристик. Основное внимание уделяется временной динамике сигнала, которая исследуется с помощью факторного анализа (Вартанов, 2023; Vartanov, 2022). В результате новый метод позволяет получать однозначное и надежное решение даже для ЭЭГ с небольшим числом отведений, поскольку выявляется только один источник. Кроме того, к одним и тем же ЭЭГ-данным такой способ можно применять неограниченное число раз, что позволяет произвести эффективную «очистку» — дифференцировать активность исследуемого источника от активности, генерируемой в окружающих местах за счет вычитания активности окружающих точек (которая независимо оценена). Следует отметить, что в отличие от традиционных методов локализации метод «виртуально вживленный электрод» обладает хорошей вычислительной мощностью, а также демонстрирует более высокую специфичность при выделении активности в заданной области интереса. Благодаря этому он обеспечивает более точное и устойчивое восстановление сигналов из выбранных зон мозга (Вартанов, 2023; Vartanov, 2022). В настоящем исследовании фокус был сужен до изучения активности в классических речевых зонах: зоне Брока, ее гомологе в правом полушарии, зоне Вернике, ее правополушарном аналоге и мозжечке (билиateralно). Такой выбор обусловлен их центральной ролью в общепринятых моделях речепроизводства и восприятия. Именно эти области демонстрируют вовлеченность как во внешнюю, так и во внутреннюю речь у здоровых людей (Alderson-Day et al., 2016; Hickok, Poeppel, 2007; McGuire et al., 1996), а также являются ключевыми при изучении заикания (Chang et al., 2009; Lu et al., 2016; Zhang et al., 2022). Кроме того, мозжечок играет вспомогательную, но критически важную роль в речевых процессах, включая внутреннее проговаривание (Шевченко, Вартанов, 2022).

Таким образом, применение нового способа анализа к данным ЭЭГ открывает возможность выявить тонкие динамические аспекты работы ряда мозговых структур, вовлекаемых в процесс восприятия и внутреннего проговаривания слов в группах нормы и людей с заиканием. В частности, метод позволяет исследовать специфику функционирования звена внутренней обратной связи, под которой в контексте данного исследования понимается вза-

имодействие между моторными (эфферентными) командами из зоны Брука и премоторной коры и сенсорными (афферентными) ожиданиями в слухоречевых зонах (зона Вернике и прилегающие области верхней височной извилины) в отсутствие внешней звуковой стимуляции. Это выгодно отличает его от методов ПЭТ или фМРТ, имеющих недостаточное временное разрешение для анализа подобных быстротекущих процессов.

Цель исследования — сравнение психофизиологических механизмов внутреннего проговаривания и восприятия слов у людей в норме и при заикании.

В качестве **гипотезы исследования** было выдвинуто предположение, что новый метод локализации — «виртуально вживленный электрод» — позволяет выявить динамические особенности реагирования ряда структур мозга (конвенциональных речевых зон и мозжечка) при восприятии и внутреннем проговаривании слов в группе заикающихся по сравнению с группой нормы. Таким образом, в исследовании проверялось предположение о том, что при заикании будет наблюдаться гиперактивация речемоторных зон, в то время как деактивации слухоречевых зон мозга наблюдаться не будет, так как во время внутренней речи отсутствует слухоречевая обратная связь.

Процедура и методы исследования

Участники

Выборку составили 35 человек, из них 25 здоровых участников (11 мужчин и 14 женщин, 18–45 лет, правши) и 10 участников с заиканием (5 мужчин и 5 женщин, 21–38 лет, правши), различия по возрасту между выборками нормы и заикающихся по критерию Манна — Уитни незначимы ($p = 0,09$). Все участники были без тяжелых психических и неврологических заболеваний в анамнезе. Этическое одобрение для проведения исследования было выдано комиссией по биоэтике ПКБ № 1 имени Н.А. Алексеева.

Оборудование

Проводилась регистрация многоканальной электроэнцефалографии с помощью прибора «Нейро-КМ» фирмы «Статокин» (19 каналов) с расположением электродов по международной системе 10–20 % с двумя mastoidами. Частота дискретизации составила 100 Гц, полоса пропускания была установлена на частоте 0,3 до 30 Гц. Первичная обработка электроэнцефалографических данных была произведена с помощью лицензионного программного обеспечения BrainWin. Для предъявления стимулов использовалась программа Presentation. Громкость звуковых стимулов регулировалась самим испытуемым.

Стимульный материал

В качестве стимулов были использованы 4 слова русского языка, произнесенные женским голосом: «сахар», «шашлык», «ракета», произнесенные без дефекта речи, и четвертое слово «ракета», произнесенное с дефектом речи —

ротацизмом. Поскольку одной из задач эксперимента было исследование механизмов ротацизма, ключевым стимулом выступало слово «ракета», предъявленное в двух вариантах — нормальном и дефектном. Такой подход позволяет напрямую сравнить обработкуискаженной фонемы [р] в идентичном лингвистическом контексте. Слова «сахар» и «шашлык» были подобраны в качестве контрольных стимулов. Требует уточнения, что слово «сахар» использовалось как контрольный стимул по акустическим и фонетическим параметрам, а не по наличию/отсутствию фонемы [р]. Введение контрольных слов обеспечивает проверку того, что выявленные эффекты при обработке слова «ракета» (особенно его дефектного варианта) связаны именно с восприятием данного звука, а не с особенностями произвольного слова или наличием нарушения в целом. При подборе слов мы стремились максимально контролировать лингвистические переменные: все стимулы являются частотными существительными схожей длины и слоговой структуры, что минимизирует вклад побочных факторов (таких как усилия на распознавание редкого слова) в мозговую активность.

Предварительная проверка показала, что присутствие слова, произнесенного с ротацизмом, не влияет на выполнение основной задачи в текущем эксперименте, в связи с чем все стимулы были объединены в один набор данных для анализа.

Процедура эксперимента

Стимулы предъявлялись аудиально, через наушники, в случайном порядке, каждое слово предъявлялось 35 раз, всего 140 предъявлений. Громкость стимулов была установлена самим участником на комфортном для восприятия уровне. Длительность каждого аудиостимула соответствовала естественному темпу произнесения диктором-женщиной и в среднем составляла от 500 до 700 миллисекунд в зависимости от фонетического состава слова.

Задачей участника было прослушать слово и после сигнала повторить его про себя. Начало внутреннего проговаривания задавалось пусковым сигналом (коротким звуком), который воспроизводился после предъявления основного стимула. Период для восприятия стимула — 1500 мс, период для внутреннего проговаривания — 2000 мс, первые 100 мс из которых это пусковой сигнал. Во время регистрации ЭЭГ в экспериментальной серии во время слушания и проговаривания глаза участников были закрыты.

Анализ данных

До анализа данных записи ЭЭГ очищались от артефактов визуальным методом с помощью программы BrainWin. Анализировались временные отрезки 200 мс до начала стимула (слова и звукового сигнала) и 800 мс после начала его предъявления. При наличии артефакта на данном временном отрезке метка стимула удалялась, и ее временной интервал не участвовал в дальнейшем анализе. Полученные временные отрезки длиной 1000 мс были обработаны с помощью нового метода локализации мозговой активности — «виртуально вживленный электрод» (Патент RU 2 785 268 C1, разработчик

А.В. Вартанов). Для исследования активности по атласу MNI152 была выбрана 41 структура. Далее в каждой из этих структур была реконструирована электрическая активность мозга, которая затем усреднялась по всем четырем предъявленным словам, как по каждому отдельному испытуемому ($N = 140$), так и по всей группе испытуемых ($N = 1400$ для группы заикающихся и $N = 3500$ для группы нормы) с оценкой 95% доверительного интервала. В результате для каждой из двух групп испытуемых по каждой мозговой структуре была получена усредненная кривая активности как для процесса восприятия слов, так и для процесса их внутреннего проговаривания. Для визуализации усредненных кривых реконструированной активности и построения вокруг них доверительных интервалов (confidence bands) использовался программный пакет STATISTICA (TIBCO Software Inc.), версия 8.0. На основе анализа литературы были выбраны 6 зон интереса (ROI): зона Брука, зона Вернике и симметричные им области мозга справа, а также левое и правое полушария мозжечка. Оценка достоверности различий между кривыми электрической активности группы нормы и заикания в каждый момент времени осуществлялась на основе 95% доверительного интервала. Расчеты были проведены с использованием встроенных функций программного пакета STATISTICA. Далее периоды, где были значимые различия, делились на периоды гиперактивации (кривая активности в группе заикания сильнее отклоняется от нулевой линии по сравнению с группой нормы, причем в обеих группах отклонение имеет одинаковую полярность) или деактивации (кривая активности в группе заикания меньше отклоняется от нулевой линии по сравнению с группой нормы, причем в обеих группах отклонение имеет одинаковую полярность), а также на периоды, в которых отклонения кривых активности от нулевой линии у групп нормы и заикающихся разнополярны (то есть эти отличия не могут быть интерпретированы в терминах активации/деактивации).

Для контроля влияния альфа-ритма (8–13 Гц) на конфигурацию реконструированной электрической активности проводилась статистическая оценка различий в мощности альфа-ритма между группами с использованием критерия Манна — Уитни. Значение мощности альфа-ритма рассчитывалось как среднее по всем 19 электродам для каждого испытуемого.

Результаты

Мозговые механизмы восприятия речи и внутреннего проговаривания рассматривались в рамках расположения «виртуально вживленного электрода» в области интереса. Были получены следующие результаты (табл. 1).

В зоне Брука общая длительность различий во время восприятия составила 265 мс гиперактивации (рис. 1); во время внутреннего проговаривания — 289 мс (рис. 2). В правополушарной области, симметричной зоне Брука, общая длительность различий в серии на восприятие составила 489 мс, из них — 412 мс гиперактивации (рис. 3); в серии на внутреннее проговаривание — 342 мс, из которых — 266 мс гиперактивации (рис. 4).

Таблица 1 / Table 1

Временные интервалы выявленных различий реконструированной электрической активности между группами нормы и заикающихся при восприятии слов и внутреннем проговаривании / Time intervals of revealed differences in reconstructed electrical activity between groups of normals and stutterers in word perception and internal pronunciation

Зона мозга и серия эксперимента / Brain Region and Experimental Series	Гиперактивация (длительность интервала в мс), суммарная длительность из 800 мс / Hyperactivation (interval duration, ms), total duration out of 800 ms	Деактивация (длительность интервала в мс), суммарная длительность из 800 мс / Deactivation (interval duration, ms), total duration out of 800 ms	Разнополярность (длительность интервала в мс), суммарная длительность из 800 мс / Bipolarity (interval duration, ms), total duration out of 800 ms
BA44L восприятие / BA44L Perception	345–379 (34) 544–665 (121) 690–800 (110) 265	–	–
BA44R восприятие / BA44R Perception	318–554 (236) 593–647 (54) 678–800 (122) 412	–	147–185 (38) 235–274 (39) 77
BA44L проговаривание / BA44L Speech production	446–497 (51) 538–576 (38) 600–800 (200) 289	–	–
BA44R проговаривание / BA44L Speech production	35–50 (15) 234–277 (43) 546–564 (18) 610–800 (190) 266	–	109–166 (57) 308–327 (19) 76
Мозжечок L восприятие / Left Cerebellum Perception	155–179 (24) 230–268 (38) 342–367 (25) 87	–	730–752 (22)
Мозжечок R восприятие / Right Cerebellum Perception	338–500 (162) 529–550 (21) 692–718 (26) 776–800 (24) 233	–	–
Мозжечок L проговаривание / Left Cerebellum Speech production	200–240 (40) 256–275 (19) 293–304 (11) 709–744 (35) 105	–	444–472 (28) 540–572 (32) 630–675 (45) 766–800 (34) 139
Мозжечок R проговаривание / Right Cerebellum Speech production	460–485 (25) 548–800 (252) 277	–	110–138 (28) 308–348 (40) 68
BA22L восприятие / BA22L Perception	233–264 (31)	–	–
BA22R восприятие / BA22R Perception	–	–	221–268 (47)
BA22L проговаривание / BA22L Speech production	–	182–207 (25)	–
BA22R проговаривание / BA22R Speech production	–	–	–

Примечание. BA44L — зона Брока; BA44R — симметричная зоне Брока область в правом полушарии; BA22L — зона Вернике; BA22R — симметричная зоне Вернике область в правом полушарии.

Note. BA44L — Broca's area; BA44R — right-hemisphere homolog of Broca's area; BA22L — Wernicke's area; BA22R — right-hemisphere homolog of Wernicke's area.

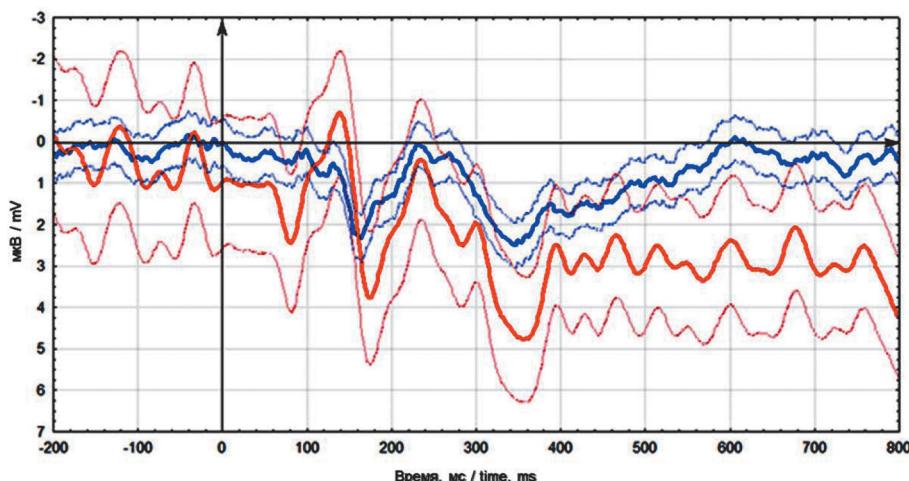


Рис. 1. Реконструированная электрическая активность в зоне Брока при восприятии речи

Примечание. Жирные синие линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе нормы; жирные красные линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе заикающихся; бледно-синие и бледно-красные линии — их 95%-ные доверительные интервалы.

Источник: создано В.М. Зубко с использованием STATISTICA (TIBCO Software Inc.), версия 8.0.

Figure 1. Reconstructed electrical activity in Broca's zone during speech perception

Note. Bold blue lines represent the mean reconstructed electrical activity in the control group; bold red lines represent the mean reconstructed electrical activity in the stuttering group; light blue and light red lines indicate their 95% confidence intervals.

Source: created by Veronika M. Zubko using STATISTICA (TIBCO Software Inc.), version 8.0.

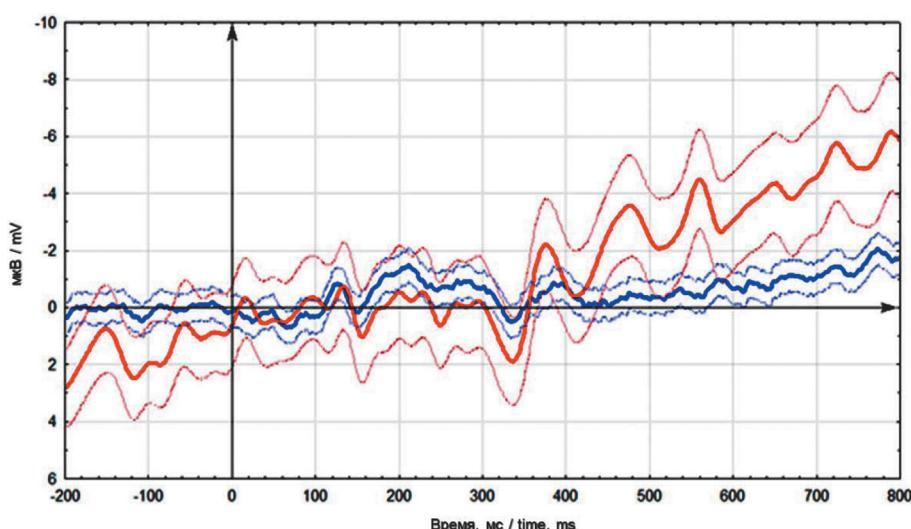


Рис. 2. Реконструированная электрическая активность в зоне Брока при внутреннем проговаривании

Примечание. Жирные синие линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе нормы; жирные красные линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе заикающихся; бледно-синие и бледно-красные линии — их 95%-ные доверительные интервалы.

Источник: создано В.М. Зубко с использованием STATISTICA (TIBCO Software Inc.), версия 8.0.

Figure 2. Reconstructed electrical activity in Broca's zone during internal pronunciation

Note. Bold blue lines represent the mean reconstructed electrical activity in the control group; bold red lines represent the mean reconstructed electrical activity in the stuttering group; light blue and light red lines indicate their 95% confidence intervals.

Source: created by Veronika M. Zubko using STATISTICA (TIBCO Software Inc.), version 8.0.

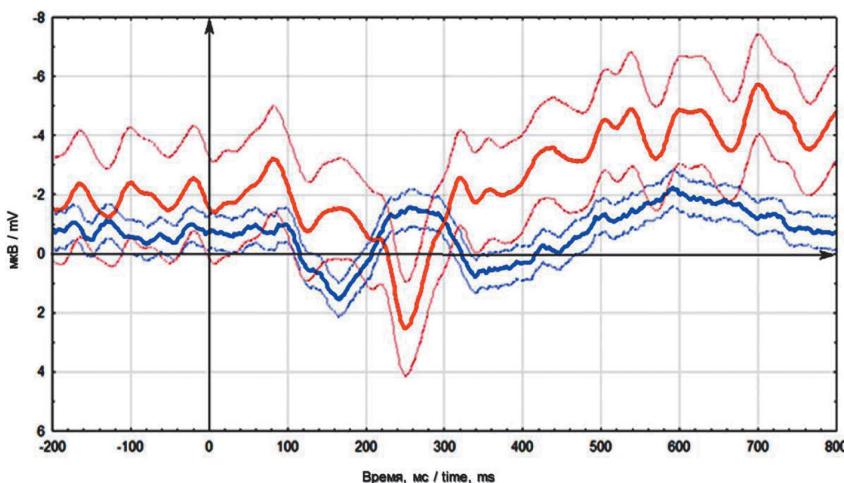


Рис. 3. Реконструированная электрическая активность в правополушарной зоне, симметричной зоне Брока при восприятии речи

Примечание. Жирные синие линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе нормы; жирные красные линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе заикающихся; бледно-синие и бледно-красные линии — их 95%-ные доверительные интервалы.

Источник: создано В.М. Зубко с использованием STATISTICA (TIBCO Software Inc.), версия 8.0.

Figure 3. Reconstructed electrical activity in the right-hemisphere region symmetrical to Broca's zone during speech perception

Note. Bold blue lines represent the mean reconstructed electrical activity in the control group; bold red lines represent the mean reconstructed electrical activity in the stuttering group; light blue and light red lines indicate their 95% confidence intervals.

Source: created by Veronika M. Zubko using STATISTICA (TIBCO Software Inc.), version 8.0.

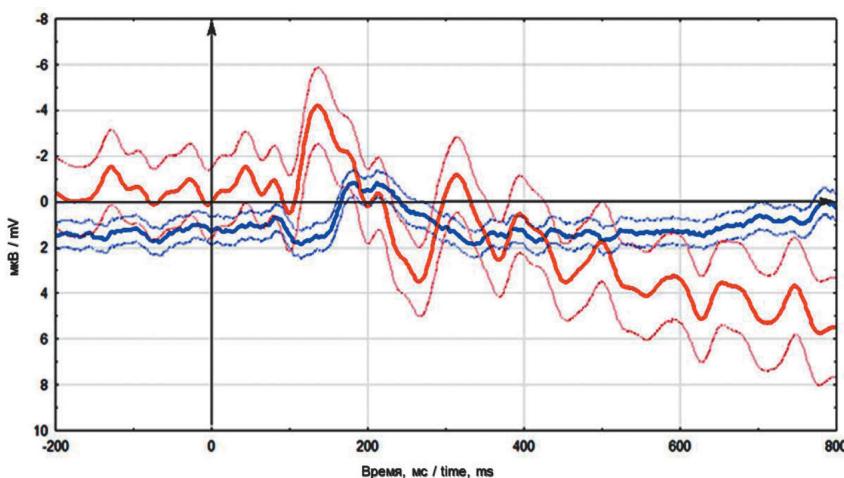


Рис. 4. Реконструированная электрическая активность в правополушарной зоне, симметричной зоне Брока при внутреннем проговаривании

Примечание. Жирные синие линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе нормы; жирные красные линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе заикающихся; бледно-синие и бледно-красные линии — их 95%-ные доверительные интервалы.

Источник: создано В.М. Зубко с использованием STATISTICA (TIBCO Software Inc.), версия 8.0.

Figure 4. Reconstructed electrical activity in the right-hemisphere region symmetrical to Broca's zone during internal pronunciation

Note. Bold blue lines represent the mean reconstructed electrical activity in the control group; bold red lines represent the mean reconstructed electrical activity in the stuttering group; light blue and light red lines indicate their 95% confidence intervals.

Source: created by Veronika M. Zubko using STATISTICA (TIBCO Software Inc.), version 8.0.

В зоне Вернике практически не оказалось различий электрической активности между группами. При восприятии слова наблюдается гиперактивация длительностью 31 мс (рис. 5), а при внутреннем проговаривании — деактивация длительностью 25 мс (рис. 6). В правополушарной области, симметричной зоне Вернике, наблюдается только один интервал с разнополярной активностью при восприятии слова длительностью 47 мс (рис. 7–8).

В мозжечке слева общее время интервалов различий между кривыми активности при восприятии слов составило 109 мс, из них 87 мс гиперактивации (рис. 9); при внутреннем проговаривании общее время различий составило 244 мс, из которых гиперактивации — 105 мс (рис. 11). В мозжечке справа при восприятии общая длительность интервалов различий кривых активности составило 233 мс гиперактивации (рис. 10); при внутреннем проговаривании — 345 мс, из которых — 277 мс гиперактивации (рис. 12).

Значение мощности альфа-ритма (8–13 Гц) статистически не различалось для контрольной группы и группы заикающихся ($p > 0,05$ по критерию Манна — Уитни).

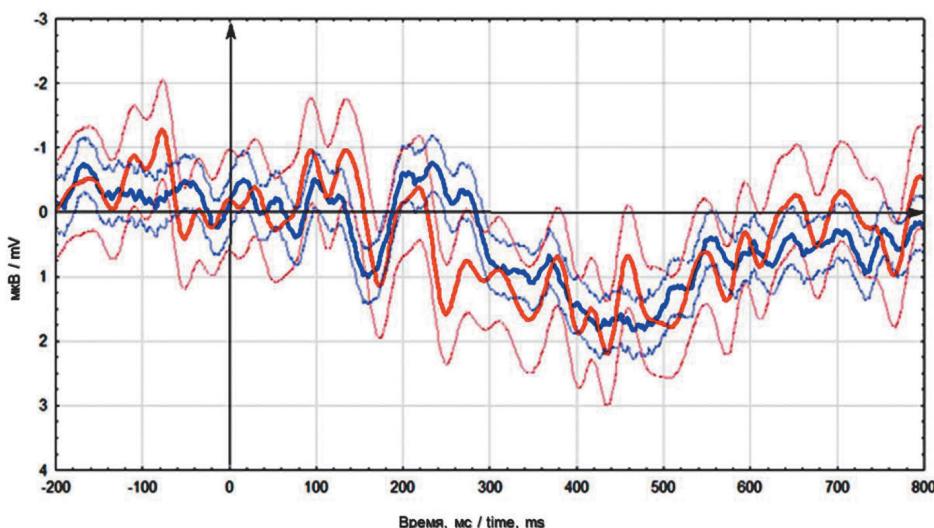


Рис. 5. Реконструированная электрическая активность головного мозга в зоне Вернике при восприятии речи

Примечание. Жирные синие линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе нормы; жирные красные линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе заикающихся; бледно-синие и бледно-красные линии — их 95%-ные доверительные интервалы.

Источник: создано В.М. Зубко с использованием STATISTICA (TIBCO Software Inc.), версия 8.0.

Figure 5. Reconstructed electrical activity in Wernicke's zone during speech perception

Note. Bold blue lines represent the mean reconstructed electrical activity in the control group; bold red lines represent the mean reconstructed electrical activity in the stuttering group; light blue and light red lines indicate their 95% confidence intervals.

Source: created by Veronika M. Zubko using STATISTICA (TIBCO Software Inc.), version 8.0.

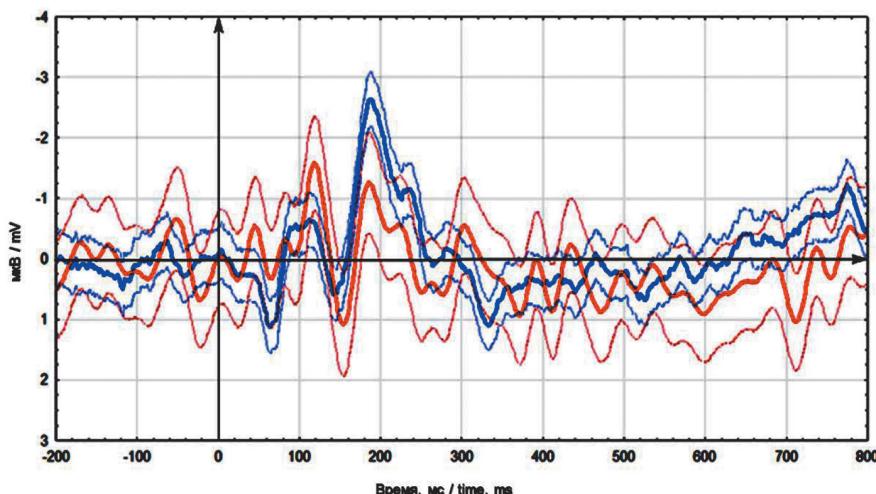


Рис. 6. Реконструированная электрическая активность в зоне Вернике при внутреннем проговаривании

Примечание. Жирные синие линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе нормы; жирные красные линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе заикающихся; бледно-синие и бледно-красные линии — их 95%-ные доверительные интервалы.

Источник: создано В.М. Зубко с использованием STATISTICA (TIBCO Software Inc.), версия 8.0.

Figure 6. Reconstructed electrical activity in Wernicke's zone during internal pronunciation

Note. Bold blue lines represent the mean reconstructed electrical activity in the control group; bold red lines represent the mean reconstructed electrical activity in the stuttering group; light blue and light red lines indicate their 95% confidence intervals.

Source: created by Veronika M. Zubko using STATISTICA (TIBCO Software Inc.), version 8.0.

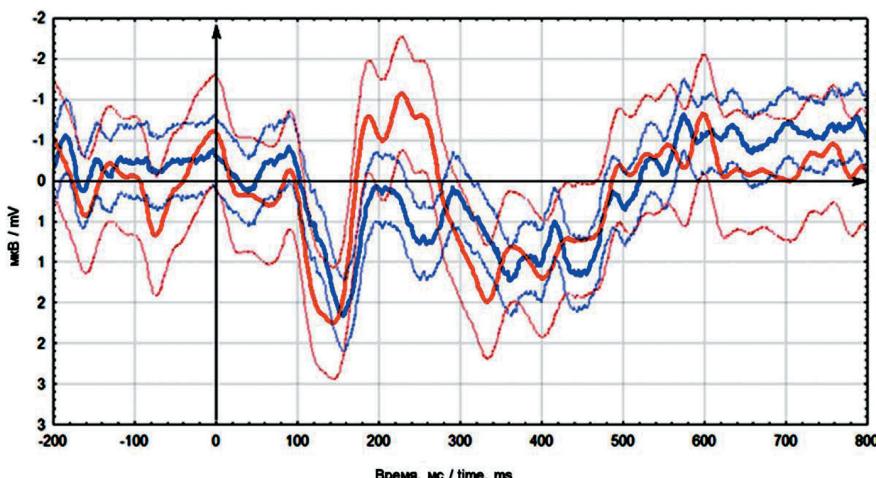


Рис. 7. Реконструированная электрическая активность в правополушарной зоне, симметричной зоне Вернике при восприятии речи

Примечание. Жирные синие линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе нормы; жирные красные линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе заикающихся; бледно-синие и бледно-красные линии — их 95%-ные доверительные интервалы.

Источник: создано В.М. Зубко с использованием STATISTICA (TIBCO Software Inc.), версия 8.0.

Figure 7. Reconstructed electrical activity in the right-hemisphere region symmetrical to Wernicke's zone during speech perception

Note. Bold blue lines represent the mean reconstructed electrical activity in the control group; bold red lines represent the mean reconstructed electrical activity in the stuttering group; light blue and light red lines indicate their 95% confidence intervals.

Source: created by Veronika M. Zubko using STATISTICA (TIBCO Software Inc.), version 8.0.

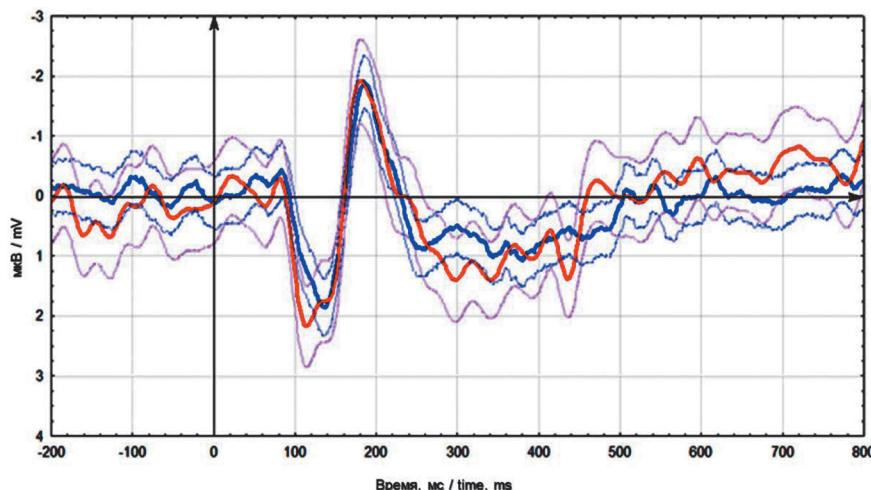


Рис. 8. Реконструированная электрическая активность в правополушарной зоне, симметричной зоне Вернике при внутреннем проговаривании

Примечание. Жирные синие линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе нормы; жирные красные линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе заикающихся; бледно-синие и бледно-красные линии — их 95%-ные доверительные интервалы.

Источник: создано В.М. Зубко с использованием STATISTICA (TIBCO Software Inc.), версия 8.0.

Figure 8. Reconstructed electrical activity in the right-hemisphere region symmetrical to Wernicke's zone during internal pronunciation

Note. Bold blue lines represent the mean reconstructed electrical activity in the control group; bold red lines represent the mean reconstructed electrical activity in the stuttering group; light blue and light red lines indicate their 95% confidence intervals.

Source: created by Veronika M. Zubko using STATISTICA (TIBCO Software Inc.), version 8.0.

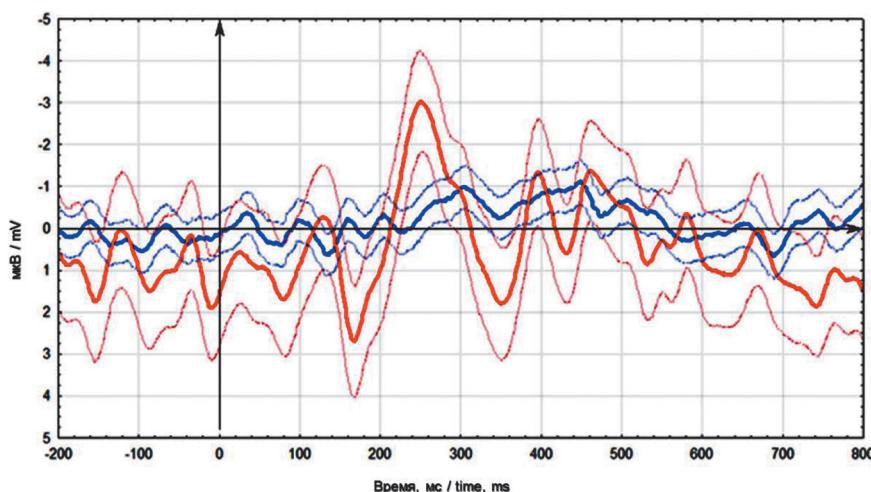


Рис. 9. Реконструированная электрическая активность в левом полушарии мозжечка при восприятии речи

Примечание. Жирные синие линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе нормы; жирные красные линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе заикающихся; бледно-синие и бледно-красные линии — их 95%-ные доверительные интервалы.

Источник: создано В.М. Зубко с использованием STATISTICA (TIBCO Software Inc.), версия 8.0.

Figure 9. Reconstructed electrical activity in the left cerebellar hemisphere during speech perception

Note. Bold blue lines represent the mean reconstructed electrical activity in the control group; bold red lines represent the mean reconstructed electrical activity in the stuttering group; light blue and light red lines indicate their 95% confidence intervals.

Source: created by Veronika M. Zubko using STATISTICA (TIBCO Software Inc.), version 8.0.

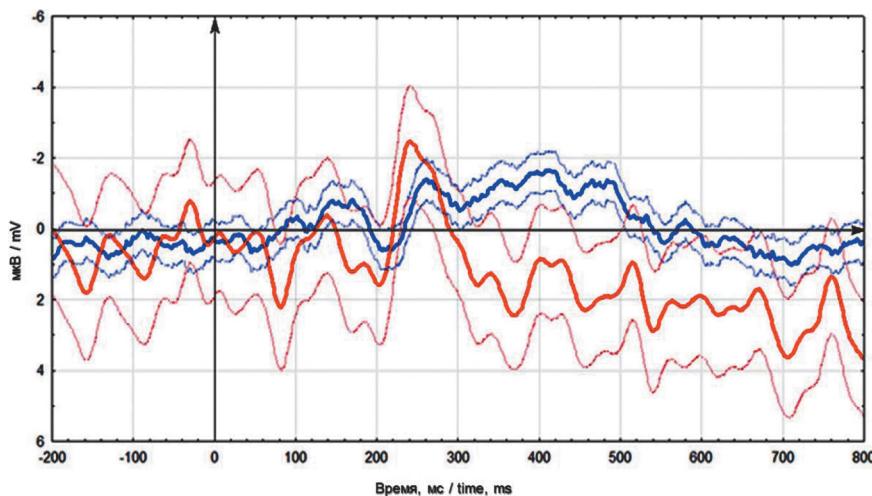


Рис. 10. Реконструированная электрическая активность в правом полушарии мозжечка при восприятии речи

Примечание. Жирные синие линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе нормы; жирные красные линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе заикающихся; бледно-синие и бледно-красные линии — их 95%-ные доверительные интервалы.

Источник: создано В.М. Зубко с использованием STATISTICA (TIBCO Software Inc.), версия 8.0.

Figure 10. Reconstructed electrical activity in the right cerebellar hemisphere during speech perception

Note. Bold blue lines represent the mean reconstructed electrical activity in the control group; bold red lines represent the mean reconstructed electrical activity in the stuttering group; light blue and light red lines indicate their 95% confidence intervals.

Source: created by Veronika M. Zubko using STATISTICA (TIBCO Software Inc.), version 8.0.

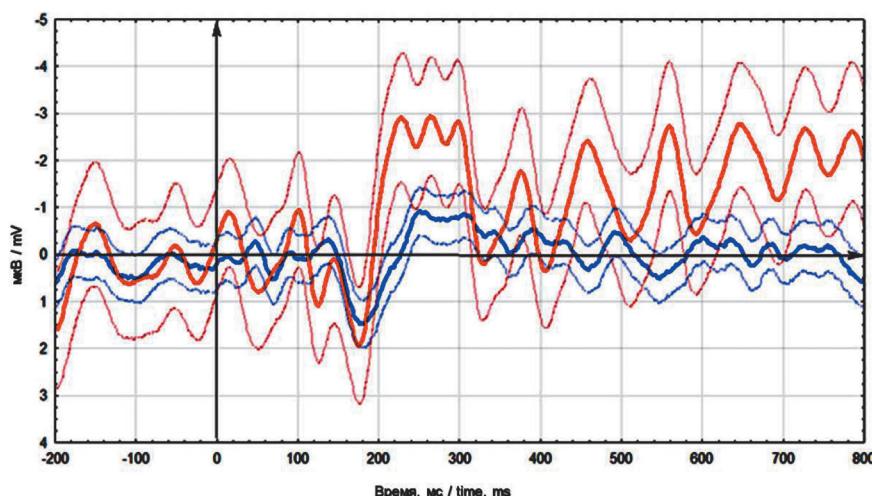


Рис. 11. Реконструированная электрическая активность в левом полушарии мозжечка при внутреннем проговаривании

Примечание. Жирные синие линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе нормы; жирные красные линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе заикающихся; бледно-синие и бледно-красные линии — их 95%-ные доверительные интервалы.

Источник: создано В.М. Зубко с использованием STATISTICA (TIBCO Software Inc.), версия 8.0.

Figure 11. Reconstructed electrical activity in the left cerebellar hemisphere during internal pronunciation

Note. Bold blue lines represent the mean reconstructed electrical activity in the control group; bold red lines represent the mean reconstructed electrical activity in the stuttering group; light blue and light red lines indicate their 95% confidence intervals.

Source: created by Veronika M. Zubko using STATISTICA (TIBCO Software Inc.), version 8.0.

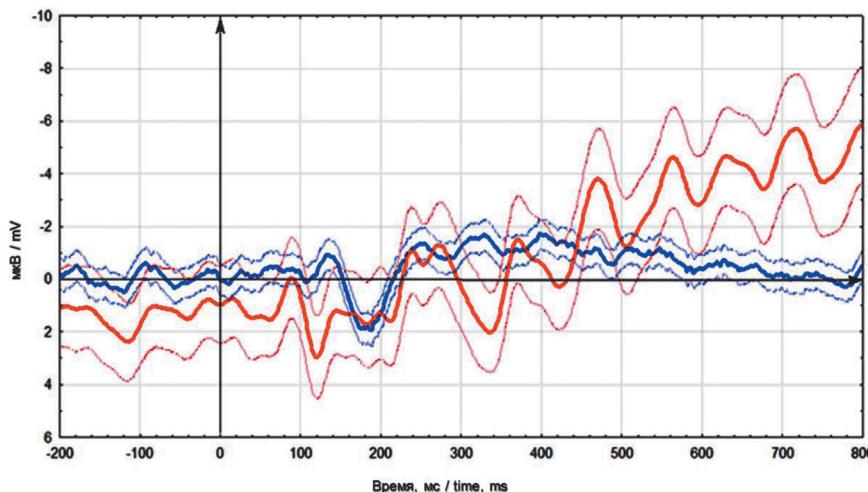


Рис. 12. Реконструированная электрическая активность в правом полушарии мозжечка при внутреннем проговаривании

Примечание. Жирные синие линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе нормы; жирные красные линии показывают среднее значение реконструированной электрической активности в группе заикающихся; бледно-синие и бледно-красные линии — их 95%-ные доверительные интервалы.

Источник: создано В.М. Зубко с использованием STATISTICA (TIBCO Software Inc.), версия 8.0.

Figure 12. Reconstructed electrical activity in the right cerebellar hemisphere during internal pronunciation

Note. Bold blue lines represent the mean reconstructed electrical activity in the control group; bold red lines represent the mean reconstructed electrical activity in the stuttering group; light blue and light red lines indicate their 95% confidence intervals.

Source: created by Veronika M. Zubko using STATISTICA (TIBCO Software Inc.), version 8.0.

Обсуждение

В данном исследовании изучалась мозговая активность при внутреннем проговаривании в определенных зонах интереса: ключевые конвенциональные речевые зоны (зоны Брука и Вернике), а также мозжечок, так как можно предполагать его вспомогательную роль в реализации внутренней речи. В работе также проверялась гипотеза о том, что речемоторные области мозга заикающихся будут гиперактивированы, по сравнению с нормой, что может являться одним из механизмов заикания, а гипоактивация слухоречевых зон не будет наблюдаться в силу отсутствия слухоречевой обратной связи (Zhang et al., 2022).

По литературным данным, электромиографическая активность, связанная с внутренним проговариванием, начинается через 170–200 мс после пускового сигнала (Шевченко, 2023), в связи с чем при анализе серии с проговариванием основное внимание уделялось межгрупповым различиям на интервале 170–800 мс после пускового сигнала.

Отметим, что анализ мощности альфа-ритма не показал статистически значимых различий между группами, что позволяет исключить этот фактор при анализе различий в кривых реконструированной электрической активности.

В предыдущих исследованиях было надежно показано, что зона Брука напрямую связана с заиканием, так как участвует в планировании и продуцировании речи (Zhang et al., 2022; Hickok et al., 2011; Guenther and Vladusich,

2012; Hickok, 2012). У заикающихся возникают микроструктурные нейроанатомические аномалии в зоне Брука (Guenther, Vladusich, 2012; Hickok, 2012; Hickok et al., 2011; Zhang et al., 2022). Данные нашего исследования, полученные методом «виртуально вживленного электрода», показали гиперактивацию зоны Брука у группы заикающихся, как при внутреннем проговаривании, так и при восприятии слов. Гиперактивация зоны Брука при порождении речи может являться одним из ключевых механизмов появления заикания (Zhang et al., 2022), приводящих к судорогам речевого аппарата. Гиперактивация зоны Брука при восприятии речи у заикающихся также подтверждается другими исследованиями (Biermann-Ruben, 2005). Возможно, гиперактивация зоны Брука при восприятии слов объясняется более универсальной «хронической» гиперактивацией, присутствующей не только при порождении и восприятии речи, но и в состоянии покоя. Данное объяснение также совместимо с моторной теорией восприятия речи (D'Ausilio et al., 2009; Fowler, 2016; Fridriksson et al., 2008).

Результаты нашего исследования показали гиперактивацию правополушарной области, симметричной зоне Брука, что может являться компенсаторным механизмом, при котором мозг адаптируется к дефектной работе зоны Брука (Halag-Milo et al., 2016). Данный механизм адаптации — вариант викариата, который предполагает компенсаторную работу полушария, противоположного полушарию с нарушениями. Это подтверждается результатами работы, в которой показано, что правополушарная компенсаторная активация ассоциирована с редукцией заикания (Neff, 2015). Возможно, такой механизм может объяснить снижение межполушарной асимметрии, свойственное людям с заиканием, так как дополнительно вовлекается субдоминантное по речи правое полушарие (Forster, Webster, 2001; Foundas et al., 2003).

При помещении «виртуально вживленного электрода» в области левого и правого полушария мозжечка у заикающихся наблюдалась гиперактивация и при восприятии, и при внутреннем проговаривании слов. Эти данные соответствуют метаанализу зон, активность которых отличается у заикающихся людей по сравнению с нормой при внешнем проговаривании (Zhang et al., 2022). Так как мозжечок играет вспомогательную роль в задаче на внутреннее проговаривание (Шевченко, Вартанов, 2022), можно предположить, что его роль поддержки основных речевых зон увеличивается при их дисфункции при заикании.

При анализе результатов, полученных при помещении «виртуально вживленного электрода» в зону Вернике и симметричную ей область в правом полушарии, наблюдается небольшое различие (гиперактивация) при восприятии слов в зоне Вернике, а также небольшое различие (деактивация) при внутреннем проговаривании там же. Однако длина этих интервалов невелика по сравнению с другими зонами интереса. Можно предположить, что восприятие чужой речи не страдает при заикании. Кроме того, анализ результатов показывает, что в зоне Вернике и симметричной ей правополушарной области нет существенных различий и в серии с внутренним проговариванием. Это

может быть связано со спецификой механизмов восприятия собственной речи как обратной связи при заикании. Так, согласно «эффекту Ли», у здоровых людей можно спровоцировать запинки в ситуации восприятия собственной речи с отсрочкой в несколько сотен миллисекунд (Lee, 1951). В этом контексте было показано (например, см.: Миссоловин, 2015), что отсрочивание слуховой обратной связи может, наоборот, повысить плавность речи у заикающихся. В нашем эксперименте слуховой обратной связи не было, так как проговаривание было внутренним, поэтому, вероятно, значимых межгрупповых различий в активности зоны Вернике и симметричной ей правополушарной области при внутреннем проговаривании практически не наблюдается. Таким образом, мы можем предполагать отсутствие заикания при внутреннем проговаривании, что в целом согласуется с самоотчетами испытуемых. В итоге полученные результаты показывают, что потенциально дефектный канал восприятия собственной речи как обратной связи не задействуется при внутреннем проговаривании и, соответственно, не приводит к заиканию во внутренней речи, несмотря на наблюданную гиперактивацию моторных механизмов.

Важным результатом данного исследования является не только сам факт выявления различий, но и их временная динамика. Полученные данные о латентности и длительности интервалов гиперактивации в моторных речевых зонах и мозжечке позволяют выдвинуть гипотезы о стадиях речевого процесса, наиболее затрагиваемых при заикании. Например, длительные интервалы гиперактивации в зоне Брока (> 250 мс), следующие за предъявлением стимула, могут отражать не только трудности инициирования моторного акта внутренней речи, но и нарушения на этапе ее моторного планирования и артикуляторного программирования. Однако при интерпретации временных параметров необходимо учитывать ограничение, связанное с новизной метода «виртуально вживленного электрода». Несмотря на успешную апробацию (Вартанов, 2023), метод требует дальнейшей валидации на более широком классе задач и прямого сопоставления с инвазивными данными, что является перспективной задачей для будущих исследований.

Важно отметить, что данное исследование имеет определенные *ограничения*. Интерпретация полученных результатов требует определенной осторожности в связи с использованием нового подхода к анализу данных ЭЭГ. Несмотря на перспективность применяемой методики, ее сравнительная новизна предполагает необходимость дальнейшего накопления опыта ее использования и проверки получаемых данных другими исследовательскими группами.

Заключение

В исследовании получены новые результаты об активности мозга при выполнении задач на восприятие и внутреннее проговаривание слов у людей из группы нормы и людей с заиканием с использованием авторского метода «виртуально вживленного электрода», который позволяет реконструировать электрическую активность головного мозга в ходе выполнения различного

рода задач. Значимые различия между кривыми активности исследуемых групп были получены в речемоторной зоне мозга — зоне Брука, а также в мозжечке. Значимых интерпретируемых различий в зоне Вернике получено не было. Полученные различия демонстрируют феномен гиперактивации упомянутых зон у заикающихся участников в сериях эксперимента на восприятие и внутреннее проговаривание. Выявленная гиперактивация классической речевой зоны Брука может являться первичным дефектом заикания. Гиперактивация мозжечка может быть связана с его вспомогательной функцией при работе речевых зон. В будущем полученные результаты можно применять для диагностики и выявления нарушений активности речевых зон мозга при заикании, а также для создания декодеров речи по мозговой активности.

Список литературы

- Вартанов А.В.* Новый подход к пространственной локализации электрической активности по данным ЭЭГ // Эпилепсия и пароксизмальные состояния. 2023. Т. 15. № 4. С. 326–338. <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.177> EDN: HKRYCE
- Вартанов А.В., Шевченко А.О.* Психофизиологические механизмы внутреннего проговаривания фонем // Вестник Московского университета. Серия 14: Психология. 2022. № 1. С. 201-220. <https://doi.org/10.11621/vsp.2022.01.09> EDN: IBSPEW
- Гавриленко Ю.Ю., Саада Д.Ф., Шевченко А.О., Ильюшин Е.А.* Обзор методов распознавания внутреннего проговаривания на основе данных электроэнцефалограммы // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т. 15. № 1. С. 164-171. <https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201901.164-171> EDN: BVCZZJ
- Глухов В.П.* Основы психолингвистики: учеб. пособие для студентов педвузов. Москва : АСТ, 2005. 351 с. EDN: QXNGSX
- Иванов А.А.* Обзор методов математического анализа ЭЭГ. Количественная ЭЭГ // Эпилепсия и пароксизмальные состояния. 2023. Т. 15. № 2. С. 171–192. <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.154> EDN: BOIMJL
- Миссуловин Л.Я., Юррова М.С.* Преодоление заикания у подростков и взрослых с использованием аппаратов типа «Аир» // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2015. № S23. С. 46-50. EDN: TUFMEJ
- Шевченко А.О., Вартанов А.В.* Вызванный артикуляторный ответ при внутреннем и внешнем проговаривании // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Познание. 2023. № 1. С. 108–111. <https://doi.org/10.37882/2500-3682.2023.01.20> EDN: QRNKMQ
- Шевченко А.О., Вартанов А.В.* Сравнение механизмов фонематического восприятия и внутреннего проговаривания фонем и слов: ЭЭГ- и фМРТ-исследование // Российский психологический журнал. 2022. Т. 19. № 4. С. 186–210. <https://doi.org/10.21702/trj.2022.4.13> EDN: RSAFCP
- Alderson-Day B., Weis S., McCarthy-Jones S., Moseley P., Smailes D., Fernyhough C.* The brain's conversation with itself: Neural substrates of dialogic inner speech // Social Cognitive and Affective Neuroscience. 2016. Vol. 11. No. 1. P. 110–120. <https://doi.org/10.1093/scan/nsv094>
- Biermann-Ruben K., Salmelin R., Schnitzler A.* Right rolandic activation during speech perception in stutterers: A MEG study // NeuroImage. 2005. Vol. 25. No. 3. P. 793–801. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.11.024>
- Chang S.-E., Kenney M.K., Loucks T.M.J., Ludlow C.L.* Brain activation abnormalities during speech and non-speech in stuttering speakers // NeuroImage. 2009. Vol. 46. No. 1. P. 201–212. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.01.066>

- D'Ausilio A., Pulvermüller F., Salmas P., Bufalari I., Begliomini C., Fadiga L. The motor somatotopy of speech perception // Current Biology. 2009. Vol. 19. No. 5. P. 381–385. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.01.017>
- De Nil L.F., Kroll R.M., Kapur S., Houle S.A. A positron emission tomography study of silent and oral single word reading in stuttering and nonstuttering adults // Journal of Speech, Language, and Hearing Research. 2000. Vol. 43. No. 4. P. 1038–1053. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4304.1038>
- Forster D.C., Webster W.G. Speech-motor control and interhemispheric relations in recovered and persistent stuttering // Developmental Neuropsychology. 2001. Vol. 19. No. 2. P. 125–145. https://doi.org/10.1207/s15326942dn1902_1
- Foundas A.L., Corey D.M., Angeles V., Bollich A.M., Crabtree-Hartman E., Heilman K.M. Atypical cerebral laterality in adults with persistent developmental stuttering // Neurology. 2003. Vol. 61. No. 10. P. 1378–1385. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000094320.44334.86>
- Fowler C.A. Speech perception as a perceptuo-motor skill // Neurobiology of Language. London: Academic Press, 2016. P. 175–184. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-407794-2.00015-8>
- Fridriksson J., Moss J., Davis B., Baylis G.C., Bonilha L., Rorden C. Motor speech perception modulates the cortical language areas // Neuroimage. 2008. Vol. 41. No. 2. P. 605–613. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.02.046>
- Guenther F.H., Vladusich T. A neural theory of speech acquisition and production // Journal of Neurolinguistics. 2012. Vol. 25. No. 5. P. 408–422. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2009.08.006>
- Halag-Milo T., Stoppelman N., Kronfeld-Duenias V., Civier O., Amir O., Ezrati-Vinacour R., Ben-Shachar M. Beyond production: Brain responses during speech perception in adults who stutter // NeuroImage: Clinical. 2016. Vol. 11. P. 328–338. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2016.02.017>
- Hickok G. Computational neuroanatomy of speech production // Nature Reviews Neuroscience. 2012. Vol. 13. No. 2. P. 135–145. <https://doi.org/10.1038/nrn3158>
- Hickok G., Houde J., Rong F. Sensorimotor integration in speech processing: Computational basis and neural organization // Neuron. 2011. Vol. 69. No. 3. P. 407–422. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.01.019>
- Hickok G., Poeppel D. The cortical organization of speech processing // Nature Reviews Neuroscience. 2007. Vol. 8. No. 5. P. 393–402. <https://doi.org/10.1038/nrn2113>
- Inner speech: New voices / ed. by P. Langland-Hassan, A. Vicente. Oxford: Oxford University Press, 2018. 350 p. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198796640.001.0001>
- Jäncke L., Hänggi J., Steinmetz H. Morphological brain differences between adult stutterers and non-stutterers // BMC Neurology. 2004. Vol. 4. No. 1. Article 23. <https://doi.org/10.1186/1471-2377-4-23>
- Karpova N.L., Nikolaeva E.I., Dobrin A.V., Poprik Y.B. Neuropsychological and psychophysiological studies in logopsychotherapy: In memory of J.M. Glozman // Lurian Journal. 2023. Vol. 4. No. 2. P. 60–80. <https://doi.org/10.15826/lurian.2023.4.2.4>
- Lee B.S. Artificial stutter // Journal of Speech and Hearing Disorders. 1951. Vol. 16. No. 1. P. 53–55. <https://doi.org/10.1044/jshd.1601.53>
- Lu C., Long Y., Zheng L., Shi G., Liu L., Ding G., Howell P. Relationship between speech production and perception in people who stutter // Frontiers in Human Neuroscience. 2016. Vol. 10. P. 224. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00224>
- Martin S., Iturrate I., Millán J.D.R., Knight R.T., Pasley B.N. Decoding inner speech using electrocorticography: Progress and challenges toward a speech prosthesis // Frontiers in Neuroscience. 2018. Vol. 12. P. 422. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00422>

- McGuire P.K., Silbersweig D.A., Murray R.M., David A.S., Frackowiak R.S.J., Frith C.D. Functional anatomy of inner speech and auditory verbal imagery // Psychological Medicine. 1996. Vol. 26. No. 1. P. 29–38. <https://doi.org/10.1017/s0033291700033699>
- Si X., Li S., Xiang S., Yu J., Ming D. Imagined speech increases the hemodynamic response and functional connectivity of the dorsal motor cortex // Journal of Neural Engineering. 2021. Vol. 18. No. 5. P. 056048. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ac25d9>
- Sommer M., Koch M.A., Paulus W., Weiller C., Büchel C. Disconnection of speech-relevant brain areas in persistent developmental stuttering // The Lancet. 2002. Vol. 360. No. 9330. P. 380–383. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(02\)09610-1](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(02)09610-1)
- Vartanov A.V. A new method of localizing brain activity using the scalp EEG data // Procedia Computer Science. 2022. Vol. 213. P. 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.11.036>
- Watkins K.E., Smith S.M., Davis S., Howell P. Structural and functional abnormalities of the motor system in developmental stuttering // Brain. 2008. Vol. 131. No. 1. P. 50–59. <https://doi.org/10.1093/brain/awm241>
- Weber-Fox C. Neural systems for sentence processing in stuttering // Journal of Speech, Language, and Hearing Research. 2001. Vol. 44. No. 4. P. 814–825. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2001/064\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2001/064))
- Zhang N., Yin Y., Jiang Y., Huang C. Reinvestigating the neural bases involved in speech production of stutterers: An ALE meta-analysis // Brain Sciences. 2022. Vol. 12. No. 8. Article no. 1030. <https://doi.org/10.3390/brainsci12081030>

История статьи:

Поступила в редакцию 6 мая 2024 г.

Доработана после рецензирования 20 октября 2024 г.

Принята к печати 23 октября 2024 г.

Для цитирования:

Вартанов А.В., Кисельников А.А., Абросимова В.Д., Зубко В.М., Леонович Д.А., Шевалдова О.В., Крысько М.Д. Психофизиологические механизмы внутреннего проговаривания при заикании // Вестник Российской университета дружбы народов. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Психология и педагогика. 2025. Т. 22. № 2. С. 289–315. <http://doi.org/10.22363/2313-1683-2025-22-2-289-315>

Вклад авторов:

А.В. Вартанов — концепция и дизайн исследования, обработка собранных материалов, редактирование текста. А.А. Кисельников — дизайн исследования, написание и редактирование текста. В.Д. Абросимова — сбор и обработка данных, написание и редактирование текста. В.М. Зубко — сбор и обработка данных, визуализация, написание и редактирование текста. Д.А. Леонович — написание и редактирование текста. О.В. Шевалдова — написание и редактирование текста. М.Д. Крысько — сбор данных, редактирование текста.

Заявление о конфликте интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Вартанов Александр Валентинович, кандидат психологических наук, старший научный сотрудник, кафедра психофизиологии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские горы, 1). ORCID: 0000-0001-8844-9643; eLibrary SPIN-код: 9511-2918. E-mail: a_v_vartanov@mail.ru

Кисельников Андрей Александрович, кандидат психологических наук, старший научный сотрудник, кафедра психофизиологии, Московский государственный университет имени

М.В. Ломоносова (Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские горы, 1). ORCID: 0000-0001-9848-5322; eLibrary SPIN-код: 1895-9026. E-mail: kiselnikov@mail.ru

Абросимова Василиса Дмитриевна, лаборант кафедры психофизиологии, факультет психологии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские горы, 1). ORCID: 0009-0009-9296-714X. E-mail: vasilisaabr@yandex.ru

Зубко Вероника Максимовна, аспирант кафедры психофизиологии, факультет психологии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские горы, 1). ORCID: 0009-0002-2513-8359. E-mail: q158veronika@gmail.com

Леонович Дарья Алексеевна, аспирант, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (Российская Федерация, 119606, Москва, проспект Вернадского, 84с1). ORCID: 0009-0001-3028-2278. E-mail: dagubareva@gmail.com

Шевалдова Ольга Владимировна, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий (Российская Федерация, 125315, Москва, Балтийская улица, 8). ORCID: 0000-0001-8577-4280; eLibrary SPIN-код: 9395-5102. E-mail: shevaldova_ov@academpharm.ru

Крысько Мария Дмитриевна, ассистент кафедры общей психологии, Институт психологии имени Л.С. Выготского, Российский государственный гуманитарный университет (Российская Федерация, 125047, Москва, Миусская площадь, 6с6). ORCID: 0000-0001-9263-5203. E-mail: mariya.krysko@mail.ru

DOI: 10.22363/2313-1683-2025-22-2-289-315

EDN: UVSDER

UDC 159.91

Research article

Psychophysiological Mechanisms of Internal Pronunciation of Words in People with Stuttering

Alexander V. Vartanov¹✉, Andrey A. Kiselnikov¹, Vasilisa D. Abrosimova¹, Veronika M. Zubko¹, Daria A. Leonovich², Olga V. Shevaldova³, Mariya D. Krysko⁴

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

² Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russian Federation

³ Federal Research Center for Innovative and Advanced Biomedical and Pharmaceutical Technologies, Moscow, Russian Federation

⁴ L.S. Vygotsky Institute of Psychology, Russian State University for the Humanities, Moscow, Russian Federation
✉ a_v_vartanov@mail.ru

Abstract. The identification of psychophysiological mechanisms underlying internal pronunciation in healthy individuals may enhance the performance of modern brain-computer interfaces that rely on the recognition of mental commands. Studying the brain mechanisms of

internal pronunciation in people with stuttering can contribute to understanding the causes of this speech disorder and to developing new or improving existing methods of stuttering correction. The purpose of the study was to compare the psychophysiological mechanisms of internal speech (internal pronunciation) and word perception in people with normal and speech defects (stuttering). Electroencephalographic (EEG) recordings were obtained from 35 participants (25 with normal speech and 10 with stuttering) using a 19-channel system while they performed a task involving listening to and internally pronouncing four words in Russian (“sakhar”, “shashlyk”, “raketa”, and “r’aketa”). The analysis was carried out using a novel tool – the virtual implanted electrode technique (Patent RU 2,785,268 C1 by A.V. Vartanov), which enables the reconstruction of neural activity across several brain regions, including six areas of interest: Broca’s area, Wernicke’s area and their right-hemisphere homologues, as well as the cerebellum bilaterally. The activity data obtained were compared in control (normal) groups and people with stuttering. The comparison revealed significant differences in reconstructed electrical activity with an emphasis on hyperactivation in stutterers of the Broca’s area, the symmetrical zone on the right, and the cerebellar cortex bilaterally, compared with the control group, when listening and pronouncing words internally. In this way the process of perception and internal pronunciation of words in a group of normals and stutterers is different. The significant differences observed in Broca’s area likely reflect its primary role in speech production, whereas differences in the cerebellar cortex may be related to its supportive function in the motor coordination of speech. The absence of differences in the Wernicke’s zone can be considered as a consequence of the lack of auditory feedback during internal pronunciation.

Key words: internal pronunciation, stuttering, reconstructed electrical activity, virtual implanted electrode, Broca’s area, Wernicke’s area

Funding. This study was supported by the Russian Science Foundation (RSF), Grant No. 20-18-00067-P.

References

- Alderson-Day, B., Weis, S., McCarthy-Jones, S., Moseley, P., Smailes, D., & Fernyhough, C. (2016). The brain’s conversation with itself: Neural substrates of dialogic inner speech. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 11(1), 110–120. <https://doi.org/10.1093/scan/nsv094>
- Biermann-Ruben, K., Salmelin, R., & Schnitzler, A. (2005). Right rolandic activation during speech perception in stutterers: A MEG study. *NeuroImage*, 25(3), 793–801. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.11.024>
- Chang, S.-E., Kenney, M.K., Loucks, T.M.J., & Ludlow, C.L. (2009). Brain activation abnormalities during speech and non-speech in stuttering speakers. *NeuroImage*, 46(1), 201–212. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.01.066>
- D’Ausilio, A., Pulvermüller, F., Salmas, P., Bufalari, I., Begliomini, C., & Fadiga, L. (2009). The motor somatotopy of speech perception. *Current Biology*, 19(5), 381–385. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.01.017>
- De Nil, L.F., Kroll, R.M., Kapur, S., & Houle, S. (2000). A positron emission tomography study of silent and oral single word reading in stuttering and nonstuttering adults. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43(4), 1038–1053. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4304.1038>
- Forster, D.C., & Webster, W.G. (2001). Speech-motor control and interhemispheric relations in recovered and persistent stuttering. *Developmental Neuropsychology*, 19(2), 125–145. https://doi.org/10.1207/s15326942dn1902_1
- Foundas, A.L., Corey, D.M., Angeles, V., Bollich, A.M., Crabtree-Hartman, E., & Heilman, K.M. (2003). Atypical cerebral laterality in adults with persistent developmental stuttering. *Neurology*, 61(10), 1378–1385. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000094320.44334.86>

- Fowler, C.A. (2016). Speech perception as a perceptuo-motor skill. In *Neurobiology of Language* (pp. 175–184). London: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-407794-2.00015-8>
- Fridriksson, J., Moss, J., Davis, B., Baylis, G.C., Bonilha, L., & Rorden, C. (2008). Motor speech perception modulates the cortical language areas. *NeuroImage*, 41(2), 605–613. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.02.046>
- Gavrilenko, Yu.Yu., Saada, D.F., Shevchenko, A.O., & Ilyushin, E.A. (2019). A review on internal pronouncing recognition methods based on electroencephalogram data. *Modern Information Technologies and IT-Education*, 15(1), 164–171. (In Russ.) <https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201901.164-171>
- Glukhov, V.P. (2005). *Fundamentals of psycholinguistics*. Moscow: AST Publ. (In Russ.)
- Guenther, F.H., & Vladusich, T. (2012). A neural theory of speech acquisition and production. *Journal of Neurolinguistics*, 25(5), 408–422. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2009.08.006>
- Halag-Milo, T., Stoppelman, N., Kronfeld-Duenias, V., Civier, O., Amir, O., Ezrati-Vinacour, R., & Ben-Shachar, M. (2016). Beyond production: Brain responses during speech perception in adults who stutter. *NeuroImage: Clinical*, 11, 328–338. <https://doi.org/10.1016/j.jncl.2016.02.017>
- Hickok, G. (2012). Computational neuroanatomy of speech production. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(2), 135–145. <https://doi.org/10.1038/nrn3158>
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2007). The cortical organization of speech processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(5), 393–402. <https://doi.org/10.1038/nrn2113>
- Hickok, G., Houde, J., & Rong, F. (2011). Sensorimotor integration in speech processing: Computational basis and neural organization. *Neuron*, 69(3), 407–422. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.01.019>
- Ivanov, A.A. (2023). Overview of mathematical EEG analysis. Quantitative EEG. *Epilepsy and Paroxysmal Conditions*, 15(2), 171–192. (In Russ.) <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.154>
- Jäncke, L., Hänggi, J., & Steinmetz, H. (2004). Morphological brain differences between adult stutterers and non-stutterers. *BMC Neurology*, 4(1), 23. <https://doi.org/10.1186/1471-2377-4-23>
- Karpova, N.L., Nikolaeva, E.I., Dobrin, A.V., & Poprik, Y.B. (2023). Neuropsychological and psychophysiological studies in logopsychotherapy: In memory of J.M. Glozman. *Lurian Journal*, 4(2), 60–80. <https://doi.org/10.15826/lurian.2023.4.2.4>
- Langland-Hassan, P., & Vicente, A. (Eds.). (2018). *Inner speech: New voices*. Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198796640.001.0001>
- Lee, B.S. (1951). Artificial stutter. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 16(1), 53–55. <https://doi.org/10.1044/jshd.1601.53>
- Lu, C., Long, Y., Zheng, L., Shi, G., Liu, L., Ding, G., & Howell, P. (2016). Relationship between speech production and perception in people who stutter. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 224. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00224>
- Martin, S., Iturrate, I., Millán, J.D.R., Knight, R.T., & Pasley, B.N. (2018). Decoding inner speech using electrocorticography: Progress and challenges toward a speech prosthesis. *Frontiers in Neuroscience*, 12, 422. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00422>
- McGuire, P.K., Silbersweig, D.A., Murray, R.M., David, A.S., Frackowiak, R.S.J., & Frith, C.D. (1996). Functional anatomy of inner speech and auditory verbal imagery. *Psychological Medicine*, 26(1), 29–38. <https://doi.org/10.1017/s0033291700033699>
- Missylovin, L.Ya., & Urova, M.S. (2015). Overcoming stuttering in adolescents and adults using devices such as ACORUS. *Scientific-Methodological Electronic Journal "Koncept"*, (S23), 46–50. (In Russ.)
- Shevchenko, A.O., & Vartanov, A.V. (2022). Comparison of the mechanisms of phonemic awareness and internal pronunciation of phonemes and syllables: EEG and fMRI study.

- Russian psychological journal, 19(4), 185–210. (In Russ.) <https://doi.org/10.21702/rpj.2022.4.13>
- Shevchenko, A.O., & Vartanov, A.V. (2023). Evoked articulatory response during internal and external speech. *Modern Science: actual problems of theory and practice. Series of "Cognition"*, (1), 108–111. (In Russ.) <https://doi.org/10.37882/2500-3682.2023.01.20>
- Si, X., Li, S., Xiang, S., Yu, J., & Ming, D. (2021). Imagined speech increases the hemodynamic response and functional connectivity of the dorsal motor cortex. *Journal of Neural Engineering*, 18(5), 056048. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ac25d9>
- Sommer, M., Koch, M.A., Paulus, W., Weiller, C., & Büchel, C. (2002). Disconnection of speech-relevant brain areas in persistent developmental stuttering. *The Lancet*, 360(9330), 380–383. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(02\)09610-1](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(02)09610-1)
- Vartanov, A.V. (2022). A new method of localizing brain activity using the scalp EEG data. *Procedia Computer Science*, 213, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.11.036>
- Vartanov, A.V. (2023). A new approach to spatial localization of EEG-based electrical activity. *Epilepsy and Paroxysmal Conditions*, 15(4), 326–338. (In Russ.) <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.177>
- Vartanov, A.V., & Shevchenko, A.O. (2022). Psychophysiological mechanisms of internal pronunciation of phonemes. *Lomonosov Psychology Journal*, (1), 201–220. (In Russ.) <https://doi.org/10.11621/vsp.2022.01.09>
- Watkins, K.E., Smith, S.M., Davis, S., & Howell, P. (2008). Structural and functional abnormalities of the motor system in developmental stuttering. *Brain*, 131(1), 50–59. <https://doi.org/10.1093/brain/awm241>
- Weber-Fox, C. (2001). Neural systems for sentence processing in stuttering. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44(4), 814–825. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2001/064\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2001/064))
- Zhang, N., Yin, Y., Jiang, Y., & Huang, C. (2022). Reinvestigating the neural bases involved in speech production of stutterers: An ALE meta-analysis. *Brain Sciences*, 12(8), 1030. <https://doi.org/10.3390/brainsci12081030>

Article history:

Received 6 May, 2024

Revised 20 October, 2024

Accepted 23 October, 2024

For citation:

Vartanov, A.V., Kiselnikov, A.A., Abrosimova, V.D., Zubko, V.M., Leonovich, D.A., Shevaldova, O.V., & Krysko, M.D. (2025). Psychophysiological mechanisms of internal pronunciation of words in people with stuttering. *RUDN Journal of Psychology and Pedagogics*, 22(2), 289–315. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-1683-2025-22-2-289-315>

Authors' contribution:

Alexander V. Vartanov — concept and design of the research, data processing, text editing. Andrey A. Kiselnikov — design of the research, text writing and editing. Vasilisa D. Abrosimova — data collection and processing, text writing and editing. Veronika M. Zubko — data collection and processing, visualization, text writing and editing. Daria A. Leonovich — text writing and editing. Olga V. Shevaldova — text writing and editing. Mariya D. Krysko — data collection, text editing.

Conflicts of interest:

The authors declare that there is no conflict of interest.

Bio notes:

Alexander V. Vartanov, PhD in Psychology, Senior Researcher, Department of Psychophysiology, Lomonosov Moscow State University (1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation). ORCID: 0000-0001-8844-9643; eLibrary SPIN-code: 9511-2918. E-mail: a_v_vartanov@mail.ru

Andrey A. Kiselnikov, PhD in Psychology, Senior Researcher, Department of Psychophysiology, Lomonosov Moscow State University (1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation). ORCID: 0000-0001-9848-5322; eLibrary SPIN-code: 1895-9026. E-mail: kiselnikov@mail.ru

Vasilisa D. Abrosimova, Laboratory Assistant, Department of Psychophysiology, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University (1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation). ORCID: 0009-0009-9296-714X. E-mail: vasilisaabr@yandex.ru

Veronika M. Zubko, PhD Student, Department of Psychophysiology, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University (1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation). ORCID: 0009-0002-2513-8359. E-mail: q158veronika@gmail.com

Daria A. Leonovich, PhD Student, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (84/1 Vernadsky Avenue, Moscow, 119606, Russian Federation). ORCID: 0009-0001-3028-2278. E-mail: dagubareva@gmail.com

Olga V. Shevaldova, Junior Researcher, Federal Research Center for Innovative and Advanced Biomedical and Pharmaceutical Technologies (8 Baltiyskaya Street, Moscow, 125315, Russian Federation). ORCID: 0000-0001-8577-4280; eLibrary SPIN-code: 9395-5102. E-mail: shevaldova_ov@academpharm.ru

Mariya D. Krysko, Assistant Lecturer, Department of General Psychology, L.S. Vygotsky Institute of Psychology, Russian State University for the Humanities (6/6 Miusskaya Square, Moscow, 125047, Russian Federation). ORCID: 0000-0001-9263-5203. E-mail: mariya.krysko@mail.ru