

Обзор / Review

<https://doi.org/10.11621/npj.2025.0311>

УДК/UDC 159.91; 159.92

■ Сенсомоторные ритмы как нейрофизиологические корреляты процессов восприятия речи в детском возрасте

В.А. Липатов¹ , П.А. Павлова¹, А.Б. Ребрейкина^{1,2}, О.В. Сысоева^{1,2}¹ Научно-технологический университет «Сириус», Краснодарский край, федеральная территория «Сириус», Российская Федерация² ИВНДиНФ РАН, Москва, Российская Федерация lipatov.va@talantiuspeh.ru

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Вклад сенсомоторной нейронной сети в восприятие речи относительно недавно был выделен и описан у взрослых людей. В детском возрасте ассоциация нейрофизиологических коррелятов сенсомоторной активности и процессов восприятия речи остается относительно новой и достаточно противоречивой областью исследований.

Цель. Определить роль сенсомоторной нейронной сети в развитии процессов восприятия речи в детском возрасте.

Методы. Поиск и анализ экспериментальных исследований, направленных на изучение сенсомоторных ритмов и речи у детей, которые были опубликованы в период с 2010 по 2025 год. Поиск осуществляли в базах научного цитирования Google Scholar, PubMed, Web of Science, eLIBRARY и КиберЛенинка, с дополнительным применением встроенных инструментов поиска Google Scholar, для расширения охвата релевантной литературы.

Результаты. Было выявлено 7 экспериментальных работ, посвященных связи сенсомоторной активности ЭЭГ и речи у детей. Большая часть исследований выполнена на выборках младенцев и детей в возрасте до 3 лет. В первой работе, наиболее ранней из рассмотренных, связь показателей сенсомоторных ритмов и речевого развития не была выявлена. Однако, в более поздних публикациях приводятся данные о том, что характер и выраженность реактивности сенсомоторных ритмов зависит от типа речевых стимулов. Ряд исследователей уточняют эти результаты, показывая, что более выраженный уровень десинхронизации сенсомоторных ритмов ассоциирован с более высоким уровнем речевых навыков у детей. Эти выводы требуют дальнейших исследований.

Выводы. Сенсомоторная сеть, вероятно, играет вспомогательную роль в развитии восприятия речи у детей. Предположительно, с возрастом ее роль уменьшается. Необходимы дальнейшие исследования для уточнения возрастных особенностей вклада сенсомоторной нейронной сети в процессы восприятия речи на группах детей дошкольного и школьного возрастов.

Ключевые слова: сенсомоторные ритмы, мю-ритм, восприятие речи, детский возраст, онтогенез, электроэнцефалография (ЭЭГ), развитие речи, зеркальные нейроны

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (РНФ), проект № 24-28-01671, тема проекта «Сенсомоторные механизмы восприятия речи в детском возрасте: психофизиологическое исследование».

Для цитирования: Липатов, В.А., Павлова, П.А., Ребрейкина, А.Б., Сысоева, О.В. (2025). Сенсомоторные ритмы как нейрофизиологические корреляты процессов восприятия речи в детском возрасте. *Национальный психологический журнал*, 20(3), 136–147. <https://doi.org/10.11621/npj.2025.0311>

■ Sensorimotor Rhythms as Neurophysiological Correlates of Speech Perception Processes in Childhood

Vladimir A. Lipatov ¹ , Polina A. Pavlova ¹, Anna B. Rebreikina ^{1,2}, Olga V. Sysoeva ^{1,2}

¹ Sirius University of Science and Technology, Krasnodar Region, Sirius Federal Territory, Russian Federation

² IHNA&NPh RAS, Moscow, Russian Federation

 lipatov.va@talantiuspeh.ru

ABSTRACT

Background. The contribution of the sensorimotor neural network to speech perception has only recently been identified and described in adults. In children, the association between neurophysiological correlates of sensorimotor activity and speech perception processes remains a relatively novel and controversial area of research.

Objectives. The aim is to determine the role of the sensorimotor neural network in the development of speech perception during childhood.

Methods. Search and analysis of experimental studies aimed at investigating sensorimotor rhythms and speech in children, published between 2010 and 2025 were performed. The search was performed in the scientific citation databases Google Scholar, PubMed, Web of Science, eLIBRARY, and CyberLeninka, with additional use of Google Scholar's built-in search tools to expand the coverage of relevant literature.

Results. We identified seven experimental studies investigating the relationship between EEG sensorimotor activity and speech in children. Most of the studies were conducted on samples of infants and children under 3 years of age. In the first study, the earliest of those reviewed, no connection was found between the indicators of sensorimotor rhythms and speech development. However, more recent publications provide evidence that the nature and magnitude of sensorimotor rhythm reactivity depend on the type of speech stimuli. Several researchers further specify these findings, demonstrating that stronger desynchronization of sensorimotor rhythms is associated with higher levels of speech skills development in children. Nevertheless, these conclusions require further investigation.

Conclusions. The sensorimotor network likely plays a supportive role in the development of speech perception in children, with its contribution presumably diminishing with age. Further research is needed to clarify age-related differences in the involvement of the sensorimotor neural network in speech perception processes, particularly in preschool- and school-aged children.

Keywords: sensorimotor rhythms, mu rhythm, speech perception, childhood, ontogenesis, electroencephalography (EEG), speech development, mirror neuron system

Funding. This work has been supported by the grant of the Russian Science Foundation, (RSF) No. 24-28-01671, "Sensory-motor mechanisms of speech perception in childhood: psychophysiological research".

For citation: Lipatov, V.A., Pavlova, P.A., Rebreikina, A.B., Sysoeva, O.V. (2025). Sensorimotor rhythms as neurophysiological correlates of speech perception processes in childhood. *National Psychological Journal*, 20(3), 136–147. <https://doi.org/10.11621/npj.2025.0311>

ВВЕДЕНИЕ

Появляется все больше доказательств того, что процесс восприятия речи задействует обширную мультисенсорную сеть, которая включает сенсомоторные области головного мозга (Franken et al., 2022; Stroganova et al., 2022). Анализ функциональной активности мозга при предъявлении широкого набора задач на понимание и обработку речевых стимулов, позволяет выявлять механизмы функционирования речевой сети головного мозга (Hsu et al., 2025). Так, сенсомоторные ритмы могут служить индикатором изменяющихся во времени процессов сенсомоторной интеграции при восприятии и производстве речи (Saltukalaroglu et al., 2018).

Сенсомоторные ритмы (мю-ритмы) представляют собой биоэлектрическую активность головного мозга, которая регистрируется наиболее выражено в проекции сенсомоторной коры в частотных диапазонах альфа-активности (8–13 Гц) и бета-активности (13–30 Гц) у взрослых людей и ассоциируется с работой сенсомоторной нейронной сети (там же). В основном сенсомоторные ритмы изучаются в рамках парадигм, стимульный материал которых включает двигательную активность (ее наблюдение, выполнение, представление и пр.) (Larionova et al., 2022).

Большая часть работ, направленных на исследование связи сенсомоторных ритмов и механизмов восприятия речи, основывается на данных взрослых людей (Michaelis et al., 2021; Mkrtychian et al., 2021). Предыдущий обзор, посвященный роли сенсомоторной сети в восприятии речи у детей, касался только младенческого возраста и фокусировался на исследованиях вызванных потенциалов, развитии вокализаций, а также нейроанатомических основ, и не рассматривал сенсомоторные ритмы (Choi et al., 2023).

Особенности сенсомоторных ритмов исследуются при различных нарушениях развития (Павлова, 2019; Начарова и др., 2020; Mitjureva et al., 2023), преимущественно у детей с расстройствами аутистического спектра (РАС) (Davydova et al., 2023). Однако, нарушения речи не являются основными для детей с РАС, наличие широкого спектра нарушений других психических функций затрудняет выявление связей между сенсомоторной активностью и речевым развитием. Исходя из этого, настоящий обзор фокусируется только на исследованиях типично развивающихся детей.

Цель исследования: определить роль сенсомоторной нейронной сети в развитии процессов восприятия речи в детском возрасте.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ:

1. Проанализировать существующие актуальные исследования ассоциации сенсомоторных ритмов и восприятия речи у детей.
2. Выявить связь между нейрофизиологическими коррелятами сенсомоторной активности и уровнем речевого развития.
3. Проанализировать методологические ограничения существующих исследований.

Гипотеза: сенсомоторная нейронная сеть играет вспомогательную роль в процессах восприятия речи в детском возрасте.

Поиск литературы был осуществлен в период с декабря 2024 года по март 2025 года с использованием следующих баз научного цитирования: Google Scholar, PubMed, Web of Science, eLIBRARY и КиберЛенинка. В обзор включались экспериментальные исследования, опубликованные в период, с 2010 по 2025 год, в которых изучалась ассоциация между сенсомоторной активностью и восприятием речи у детей. Применялись следующие поисковые запросы: (“sensorimotor rhythms” OR “mu rhythm”) AND “speech” AND (“infants” OR “children” OR “toddlers”); (“сенсомоторный ритм” OR “мю ритм”) AND “речь” AND (“дети” OR “младенцы”). Также применялись встроенные инструменты поиска баз научного цитирования, такие как «похожие статьи» и поиск по цитированию в Google Scholar, для расширения охвата релевантной литературы. В результате анализа актуальной литературы было выявлено лишь 7 работ, посвященных связи сенсомоторной активности ЭЭГ и речи у детей. Их перечень, используемые в них методики и основные результаты представлены в Таблице.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ассоциация между сенсомоторными ритмами и рецептивной коммуникацией в детском возрасте

Экспериментальные исследования, направленные на изучение ассоциации между сенсомоторными ритмами и рецептивной коммуникацией в детском возрасте, отобранные в результате поиска (см. Таблица), основываются на нейрофизиологических и поведенческих данных праворуких детей, включающих выборки носителей русского, английского и немецкого языков.

Методологические подходы, используемые в исследованиях, можно разделить на две основные группы: исследования с использованием речевых стимулов (Antognini, Daum, 2018; Antognini, Daum 2019; Patzwald et al., 2020; Белалов и др., 2020) и исследования с парадигмами наблюдения за движениями (Warreyn et al., 2013; Mikhailova et al., 2021; Salo et al., 2023), в одном из которых использовали наблюдение за жестами (Salo et al., 2023). Реакция мю-ритма на речевые стимулы наблюдалась во всех исследованиях, однако на слова, связанные с действиями, наблюдалось подавление сенсомоторных ритмов (Antognini, Daum, 2018; Antognini, Daum 2019; Patzwald et al., 2020), в то время как при прослушивании речи, наоборот, у детей, воспитывающихся в биологических семьях, отмечалось повышение амплитуды мю-ритма (Белалов и др., 2020). Подавление сенсомоторных ритмов было выше при восприятии конгруэнтных сочетаний глаголов и видеороликов, чем при предъявлении неконгруэнтных стимулов (Antognini, Daum, 2018; Patzwald et al., 2020).

Таблица

Исследования ассоциации между сенсомоторными ритмами ЭЭГ
 и рецептивной коммуникацией в детском возрасте

| Авторы, год | Выборка | Парадигма | Частотный диапазон | Области интереса | Методика оценки речевого развития | Основные результаты |
|-----------------------|-----------------------------|--|--|--|---|--|
| Warren et al., 2013 | 35 детей; 18–30 месяцев | 1) Наблюдение за бесцельно движущимися предметами (использовалось как фоновое состояние); 2) Наблюдение целенаправленного действия с предметом; 3) Повторение ребенком демонстрируемых действий; 4) Наблюдение целенаправленного действия без предмета. | Диапазон мю-ритма определялся индивидуально, среднее значение составило 7,84 Гц. | C3, C4, P3, P4, F3, F4. | Голландская версия Макартуровского опросника. | — Десинхронизация мю-ритма была выявлена при наблюдении и выполнении целенаправленных действий. — Корреляция между показателями десинхронизации мю-ритма с возрастом и языковыми способностями не выявлена. |
| Antognini, Daum, 2018 | 37 детей; 23–24 месяца | Аудиальное предъявление глаголов (в анализе рассматривалось как условие сравнения), за которым следовало видео с конгруэнтным или неконгруэнтным действием. | Альфа-диапазон: 6–10 Гц. Бета-диапазон: 15–18 Гц. | Левый центропаритетальный кластер (E30, E31, E36, E37, E42, E53, E54), правый центропаритетальный кластер (E79, E80, E86, E87, E93, E104, E105), затылочный кластер (E66, E69, E70, E71, E74, E75, E76, E82, E83, E84, E89). | Немецкая версия Макартуровского опросника. | — Семантическая конгруэнтность не влияла на десинхронизацию в альфа-диапазоне у детей с высоким уровнем речевого развития, но были выявлены отличия в десинхронизации альфа-диапазоне у детей с относительно меньшим словарным запасом. — В бета-диапазоне разница в выраженности десинхронизации была выявлена только у детей с более высоким уровнем речевого развития. |
| Antognini, Daum 2019 | 47 детей; 18 и 24 месяца | 1) Прослушивание предложений с глаголами действия; 2) Прослушивание предложений с псевдоглаголами (для глаголов и псевдоглаголов условием сравнения был аудиофрагмент аудиозаписи с местоимением “Я”); 3) Видео ролик с демонстрацией целенаправленного действия (условие сравнения — межстимульный интервал). | Анализ был проведен в диапазоне 4–20 Гц, с фокусом на частоте 6–10 Гц. | Левый центральный кластер (E29, E30, E35, E36, E37, E41, E42), правый центральный кластер (E87, E93, E103, E104, E105, E110, E111), затылочный кластер (E66, E69, E70, E74, E75, E76, E79, E82, E83, E84, E89). | нет | — В обеих возрастных группах была выявлена десинхронизация мю-ритма при восприятии глаголов и просмотре видео с действиями, которая не наблюдалась при прослушивании псевдоглаголов. — Межвозрастных различий в силе десинхронизации мю-ритма выявлено не было. |
| Patzwald et al., 2020 | 38 детей; 18 месяцев | Просмотр видео с действиями, соответствующими и не соответствующими озвученной цели (условие сравнения — межстимульный интервал, когда не происходило никаких действий). | 6–9 Гц | C3, C4, P3, P4, F3, F4. | Для оценки рецептивного и продуктивного словарного запаса активных глаголов использовался словарь глагольного словообразования. | — Мощность мю-ритма снижалась для конгруэнтных стимулов по сравнению с неконгруэнтными. — Наиболее выраженная десинхронизация в проекции электрода C4 наблюдалась у детей в группе с большим рецептивным запасом активных глаголов. |

| Авторы, год | Выборка | Парадигма | Частотный диапазон | Области интереса | Методика оценки речевого развития | Основные результаты |
|-------------------------|-------------------------------|--|---|---|---|---|
| Белалов и др., 2020 | 141 ребенок; 30–38 месяцев | 1) Регистрация спокойного состояния (контрольное условие); 2) Прослушивание нативной речи; 3) Прослушивание той же речи в реверсивном виде. | Частотный диапазон мю-ритма определялся индивидуально. | F3, F4, F7, F8, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P3, P4. | Субшкала рецептивной коммуникативной Бэйли-III. | — Восприятие как нативной, так и реверсированной речи у детей, воспитывающихся в биологических семьях, сопровождалось увеличением мощности мю-ритма, у детей-сирот наблюдалось снижение или отсутствие изменений мю-ритма при восприятии речи. — Уровень развития рецептивной речи был ниже у детей-сирот. |
| Mikhailova et al., 2021 | 39 детей; 17–41 месяц | 1) Наблюдение за видео с вращающимся мячом (контрольное условие); 2) наблюдение за имитационным действием (ребенок не видит реальной цели, над которой совершается действие); 3) Наблюдение за реальным действием; 4) Выполнение реального действия ребенком. | Индивидуально определенный мю-ритм для каждого испытуемого. Средняя частота пика мю-ритма составила 7,8 (0,1) Гц, с нижней границей 6,9 (0,1) Гц и верхней границей 8,8 (0,1) Гц. | F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4. | Бэйли-II | — Дети с высоким уровнем речевого развития демонстрировали большую десинхронизацию мю-ритма в условиях наблюдения реального действия по сравнению с детьми, имеющими средний уровень понимания речи. |
| Salo et al., 2023 | 81 младенец; 10–12 месяцев | Исследование включало 2 визита (второй визит был через месяц). Дети делились на 2 группы. Первая контрольная, во второй родители проходили обучение по применению указательных жестов во взаимодействии с детьми. 1) Наблюдение за разноцветным маяком (контрольное условие); 2) Наблюдение за указательным жестом; 3) Наблюдение за хватательным жестом. | 6–9 Гц | C3, C4 и O1, O2 (для контроля альфа ритма). | Макартуровский опросник | — Увеличение индекса десинхронизации мю-ритма при наблюдении жестикуляции экспериментатора было связано с увеличением объема рецептивного словарного запаса ребенка, а также с увеличением использования количества указательных жестов родителями после прохождения обучения. |

В целом, результаты всех рассмотренных исследований, за исключением одной работы (Wareyn et al., 2013), демонстрируют ту или иную связь между сенсомоторными ритмами, восприятием речи и/или речевым развитием, однако надо отметить ее вариативность в зависимости от типа предъявляемых стимулов, методологии исследования и уровня речевого развития детей. При наблюдении за движениями связь десинхронизации мю-ритма с речевыми навыками была обнаружена в двух работах (Mikhailova et al., 2021; Salo et al., 2023): более выраженная десинхронизация наблюдалась у детей с более высокими речевыми показателями, однако в исследовании П. Уоррена и коллег такая связь не выявлена (Wareyn et al., 2013). В исследованиях, где использовалось прослушивание глаголов с предъявлением конгруэнтных и неконгруэнтных видеороликов (Antognini, Daum, 2018; Antognini, Daum 2019; Patzwald et al., 2020) наблюдаемые эффекты зависели от речевых навыков детей. В возрасте 18 месяцев наиболее выраженная десинхронизация наблюдалась у детей с большим рецептивным словарным запасом глаголов (Patzwald et al., 2020). А в возрасте 23–24 месяца у детей с большим экспрессивным словарным запасом глаголов основные изменения сенсомоторной активности наблюдаются в бета-диапазоне при восприятии конгруэнтных стимулов, а у детей с меньшим словарным запасом глаголов основные изменения активности наблюдаются в альфа-диапазоне.

Table

Scientific research of the association between sensorimotor EEG rhythms and receptive communication in childhood

| Authors, year | Sample | Research paradigm | Frequency range | Areas of interest | Methodology for assessing speech development | Results |
|-----------------------|--------------------------------|--|--|--|---|--|
| Warreyn et al., 2013 | 35 children, 18–30 months. | 1) Observation of aimlessly moving objects (used as a control condition); 2) Observation of purposeful action with an object; 3) Repetition by the child of demonstrated actions; 4) Observation of purposeful action without an object. | The mu-rhythm range was determined individually, with a mean value of 7.84 Hz. | C3, C4, P3, P4, F3, F4. | Dutch version of the MacArthur-Bates Communicative Development Inventories (MacArthur CDI). | — The mu-rhythm desynchronization was revealed during observation and performance of purposeful actions. — No correlation between the indicators of mu-rhythm desynchronization with age and language abilities was revealed. |
| Antognini, Daum, 2018 | 37 children, 23–24 months. | Auditory presentation of verbs (considered as a comparison condition in the analysis) followed by a video with congruent or incongruent action. | Alpha rhythm: 6–10 Hz. Beta rhythm: 15–18 Hz. | Authors selected three different electrode clusters of interest: left centro-parietal (E30, E31, E36, E37, E42, E53, E54), right centro-parietal (E79, E80, E86, E87, E93, E104, E105), occipital (E66, E69, E70, E71, E74, E75, E76, E82, E83, E84, E89). | German version of the MacArthur CDI. | — Semantic congruence did not affect alpha-rhythm desynchronization in children with a high level of speech development, but there were differences in mu-rhythm desynchronization in children with a relatively smaller vocabulary. — In the beta-band, the difference in the expression of desynchronization was found only in children with a higher level of verb vocabulary. |
| Antognini, Daum 2019 | 47 children, 18 and 24 months. | 1) Listening to sentences with action verbs; 2) Listening to sentences with pseudoverb (For verb and pseudoverb baseline represented the 0–400 ms period, where the “I” had been presented); 3) A video clip with demonstration of purposeful action (baseline represented the between-stimulus interval). | The analysis was performed in the 4–20 Hz range, with a focus at 6–10 Hz. | Authors selected three different electrode clusters of interest: left centro-parietal (E30, E31, E36, E37, E42, E53, E54), right centro-parietal (E79, E80, E86, E87, E93, E104, E105), occipital (E66, E69, E70, E71, E74, E75, E76, E82, E83, E84, E89). | Did not study language development in children. | — In both age groups, mu-rhythm desynchronization was detected when listening to verbs and watching video clip with demonstration of purposeful action, which was not observed when listening to pseudoverbals. — Research results indicate that there is no difference in sensorimotor processing of action verbs between the two age groups. |
| Patzwald et al., 2020 | 38 children, 18 months. | Viewing a video of actions that are and are not consistent with the voiced goal (comparison condition with interstimulus interval when no action occurred). | 6–9 Hz | C3, C4, P3, P4, F3, F4. | The Relational Word Inventory questionnaire was used to assess receptive and productive vocabulary of active verbs. | — The power of the mu-rhythm decreased for congruent stimuli compared to incongruent stimuli. — The most pronounced desynchronization in the C4 electrode projection was observed in children in the group with a large receptive pool of active verbs. |

| Authors, year | Sample | Research paradigm | Frequency range | Areas of interest | Methodology for assessing speech development | Results |
|-------------------------|-----------------------------|--|---|---|---|--|
| Belalov et al., 2020 | 141 children, 30–38 months. | 1) Registration of the rest condition (control condition); 2) Listening to speech; 3) listening to the same speech in reversed form. | The frequency range of the mu-rhythm was determined individually. | F3, F4, F7, F8, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P3, P4. | Bailey's-III receptive communication sub-scale. | — Speech perception in children brought up in families was accompanied by an increase in the power of the mu-rhythm, while in orphans there was a decrease or absence of changes in the mu-rhythm during speech perception. — The level of receptive speech development was lower in orphans. |
| Mikhailova et al., 2021 | 39 children, 17–41 months. | 1) Observation of a rotating ball video (control condition); 2) Observation of a fake action (child does not see the real target over which the action is performed); 3) Observation of a real action; 4) Performance of an action. | Individually defined mu-rhythm for each subject. The mean peak frequency of the mu-rhythm was 7.8(0.1) Hz, with a lower limit of 6.9(0.1) Hz and an upper limit of 8.8(0.1) Hz. | F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4. | BSID-II | — Children with a high level of speech development demonstrated greater desynchronization of mu-rhythm in conditions of observation of real action compared to children with an average level of speech comprehension. |
| Salo et al., 2023 | 81 infants, 10–12 months. | The study included 2 visits (the second visit was one month later). Children were divided into 2 groups. First control, in the second group parents were trained in the use of pointing gestures in interaction with children. 1) Observation of a multicolored lighthouse (control condition); 2) Observation of pointing gesture; 3) Observation of grasping gesture. | 6–9 Hz | C3, C4 and O1, O2 (for alpha rhythm control). | McArthur CDI | — An increase in the mu rhythm desynchronization index when observing the experimenter's gestures was associated with an increase in the child's receptive vocabulary, as well as with an increase in the use of the number of pointing gestures by parents after training. |

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Способность к обработке речевого сигнала предусмотрена эволюционно и является возможной с рождения (Choi et al., 2023). В обзоре М. Франкена и коллег было выдвинуто предположение, что восприятие речи является не только слуховым, но и фундаментально мультимодальным сенсомоторным процессом, включающим зрительную и двигательную системы (Franken et al., 2022). Полагают, что мультимодальные речевые нейронные сети формируются уже до появления речевой вокализации, на стадии внутриутробного развития (Choi et al., 2023).

Связь соматосенсорных процессов с восприятием речи у младенцев подтверждается исследованиями, использующих метод вызванных потенциалов. С помощью парадигмы слухового рассогласования (auditory mismatch design), позволяющей на нейрофизиологическом уровне оценить дифференциацию звуков, было показано, что торможение артикуляции (с помощью давления на кончик языка игрушкой для прорезывания зубов) у младенцев долепетного периода приводит к избирательному нарушению процесса различения звуков, ассоциированных с данной артикуляцией, и не влияет на дифференциацию других звуков речи (Choi et al., 2021). Можно предположить, что на этапе формирования механизмов восприятия речи вклад сенсомоторной нейронной сети носит поддерживающий характер. Этот вклад наиболее выражен в младенческом возрасте, а в процессе созревания головного мозга, вероятно, уменьшается. Во взрослом возрасте сенсомоторные сети сильнее включаются в процесс восприятия речи при трудностях ее распознавания, а также при восприятии слов, связанных с действиями (Saltuklaroglu et al., 2018; Shtyrov et al., 2014; Michaelis et al., 2021).

На основании данных фМРТ при обработке сигнала во время процесса речевого обучения было выявлено, что у взрослых задействована ассоциативная слуховая кора, в то время как у детей 5–12 лет активировались соматосенсорные области и первичная моторная кора (Ohashi, Ostry, 2021). Это может отражать особенности функционирования первичной моторной коры как сенсорной в начале жизни человека. Возможно, эта область лишь позднее приобретает функциональность, соответствующую взрослому варианту, что уточняет возрастные особенности процесса восприятия речи на анатомо-функциональном уровне (Choi et al., 2023).

Часть исследователей предлагают интерпретировать сенсомоторные ритмы как корреляты активности системы зеркальных нейронов (СЗН) (Fox et al., 2016; Lebedeva et al., 2019). СЗН выделяют в качестве одного из потенциальных механизмов, обеспечивающих появление речи у человека (Arbib, 2005). СЗН и области головного мозга, связанные с речевыми функциями, значительно перекрываются, в связи с чем изменения сенсомоторных ритмов могут быть рассмотрены как косвенные индикаторы обработки речи (Cuellar et al., 2012; Hobson, Bishop, 2017). Исследование В. Сало и коллег показавшее, что сенсомоторная сеть может играть вспомогательную роль в развитии речи у младенцев посредством связи жестовой и речевой коммуникации (Salo et al., 2023), также косвенно подтверждает вовлечение СЗН в процесс развития восприятия речи. В вошедших в обзор экспериментальных статьях ряд авторов также интерпретировали десинхронизацию сенсомоторных ритмов при восприятии коммуникативных и речевых стимулов как нейрофизиологический коррелят активности СЗН у детей (Белалов и др., 2020; Patzwald et al., 2020; Mikhailova et al., 2021).

Необходимо еще раз подчеркнуть, что активность сенсомоторной системы при восприятии речи, по-видимому, зависит от многих факторов, в том числе и от типа речевых стимулов, и от задачи, стоящей перед слушателем. При восприятии слов, связанных с действиями, отмечается десинхронизация сенсомоторных ритмов как в исследованиях взрослых, так и детей (Patzwald et al., 2020; Oliveira et al., 2021), что объясняют, в том числе, через активацию нейронных сетей, связанных с данными моторными актами. Исследования МЭГ показали, что слова, относящиеся к разным частям тела, активировали соответствующие соматотопические проекции в двигательной коре (Shtyrov et al., 2014). Однако неоднократно отмечалось, что десинхронизация активности в одной сенсомоторной области нередко сопровождается синхронизацией (т.е. подавлением двигательной активности) в другой сенсомоторной области (Pfurtscheller, Neuper, 1997; Shtyrov et al., 2014; Michaelis et al., 2021). По мнению Ю. Штырова с коллегами, такое подавление активации моторных областей, не соответствующих семантике воспринятого слова, демонстрирует нейрофизиологические принципы латерального торможения в нейронной обработке слов. Результаты исследований сенсомоторной активности при восприятии других речевых стимулов менее согласованные, демонстрируют и отсутствие изменений активации, и ее усиление, и ее снижение. Объяснение такому расхождению результатов приводит в своей работе К. Михаэлис и коллеги (Michaelis et al., 2021). Взяв за основу модель двойного потока Дж. Раушчекера и С. Скотта (Rauschecker, Scott, 2009), они предположили, что характеристики стимула и требования задачи динамически определяют задействование дорсального и вентрального потоков слуховой системы. Для обработки относительно однозначной речи достаточно вентрального потока. Дорсальный поток (отвечающий прежде всего за артикуляцию и произнесение слов) задействуется при восприятии речи, способствует правильному восприятию и преимущественно активируется в трех случаях: (1) когда обработка вентрального потока недостаточна или неэффективна, поскольку сигнал не содержит лексической информации и, следовательно, не соответствует ни одной из сохраненных слуховых форм слов; (2) когда неоднозначность слухового сигнала создает неопределенность при выборе сохраненной слуховой формы слова в вентральном потоке; (3) когда наличие дополнительного сигнала или контекста, такого как визуальная речь, активирует моторные речевые представления (как, например, в исследованиях, предьявляющих слова-действия, или же слова совместно с видеороликами). Данная гипотеза дает дополнительные объяснения результатам, полученным в исследовании В.В. Белалова с коллегами: синхронизация сенсомоторной активности при прослушивании речи детьми, растущими в семье, может быть объяснена отсутствием у них трудностей ее понимания, а десинхронизация сенсомоторной активности у детей-сирот связана со сложностями понимания вследствие нарушения речевого развития.

Большая часть публикаций, направленная на изучение сенсомоторных ритмов при восприятии речи в детском возрасте, посвящена возрастному периоду первых трех лет жизни и включает только частотный диапазон альфа-активности (Antognini, Daum, 2019; Patzwald et al., 2020; Белалов и др., 2020). При этом, например, было показано, что в 18 месяцев у детей с хорошими речевыми навыками при просмотре конгруэнтных видеороликов наблюдается большее подавление активности в альфа-диапазоне, чем у детей с низкими речевыми навыками (Patzwald et al., 2020), тогда как у детей в возрасте 24 месяца с хорошими речевыми навыками наблюдается подавление в бета-диапазоне, а у детей с плохими речевыми навыками подавление при просмотре конгруэнтных видеороликов наблюдается в альфа-диапазоне (Antognini, Daum, 2018), то есть реакция подобна таковой у более младших детей. Можно предположить, что с возрастом все большую роль в речевой рецепции приобретает бета-активность, что подтверждает важность ее исследования для понимания механизмов развития речи. Необходимо отметить и то, что лишь небольшое количество работ направлено на исследование более старшего периода детского возраста при типичном развитии (Ohashi, Ostry, 2021). Также, преимущественно, в исследованиях фигурируют данные только праворуких детей (Белалов и др., 2020; Ohashi, Ostry, 2021; Mikhailova et al., 2021) или детей, у которых оба родителя являются правшами (Antognini, Daum 2019), что не позволяет оценить влияние латерализации, выявленной в исследовании для взрослых людей (Willems et al., 2010).

Методологическим ограничением для экспериментальных исследований остается контроль смещения сенсомоторного мю- и зрительного альфа-ритмов, имеющих частично пересекающиеся диапазоны (Hobson, Bishop, 2017), а также подбор оптимального контрольного условия для расчета супрессии мю-ритма, ввиду необходимости разделять общие неспецифические эффекты направленного внимания и активности, связанной именно с восприятием движений (Bowman et al., 2017; Hobson, Bishop, 2017).

Таким образом, проблема особенностей реорганизации сенсомоторной сети при восприятии речи в процессе перехода от младенческого к взрослому типу функционирования требует дальнейшего исследования. Более глубокое понимание роли сенсомоторной сети в процессах восприятия речи и ее возрастных особенностей потенциально расширяет возможности создания новых коррекционных и терапевтических мероприятий в зависимости от возраста ребенка. Так, было показано, что в результате БОС-тренингов с использованием параметров мю- и тета-ритмов ЭЭГ у детей с задержкой психоречевого развития наблюдалось улучшение коммуникативных навыков (Эйсмонт и др., 2019).

ВЫВОДЫ

1. Роль сенсомоторной нейронной сети в развитии восприятия речи у детей все больше обсуждается в литературе. Интегрируя данные предыдущего обзора на младенцах и разобранные в нашем обзоре работы, можно предположить, что ее вклад с возрастом уменьшается, однако требуются дальнейшие исследования.
2. Большая часть публикаций по теме ассоциации сенсомоторных ритмов и восприятия речи основывается на данных младенцев и детей в возрасте до 3 лет. Для уточнения возрастных особенностей вклада сенсомоторной нейронной сети в процессы восприятия речи требуется дальнейшее проведение исследований на группах детей дошкольного и школьного возрастов.
3. Некоторые работы показывают, что более выраженный уровень десинхронизации сенсомоторных ритмов ассоциирован с более высоким уровнем речевых навыков у детей, начиная уже с младенческого возраста.
4. Сенсомоторные ритмы в процессе восприятия речи преобладающая часть исследователей интерпретирует как нейрофизиологический коррелят работы системы зеркальных нейронов (СЗН), в том числе и в детском возрасте.
5. Важным ограничением в ряде исследований, направленных на изучение ассоциации сенсомоторных ритмов и процессов восприятия речи, является отсутствие методов контроля активности зрительного альфа-ритма.
6. В исследованиях ассоциации сенсомоторных ритмов и процессов восприятия речи, преимущественно, фигурирует только изучение альфа-диапазона, в то время как реактивность бета-диапазона описана в единичных работах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белалов, В.В., Базанова, О.М., Михайлова, А.А., Дягилева, Ю.О., Павленко, В.Б. (2020). Реактивность мю-ритма ЭЭГ при восприятии речи у детей в возрасте от двух до трех с половиной лет: влияние условий воспитания. *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*, 70(2), 193–205. <https://doi.org/10.31857/S0044467720020045>
- Начарова, М.А., Михайлова, А.А., Говорун, Я.Ю., Португальская, А.А., Павленко, В.Б. (2020). Нейрофизиологические механизмы восприятия речи и их особенности у детей в норме и при нарушениях развития. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия*, 6(3), 146–162. <https://doi.org/10.37279/2413-1725-2020-6-3-146-162>
- Павлова, П.А. (2019). Электроэнцефалографический коррелят когнитивного дефицита у детей, перенесших перинатальный артериальный ишемический инсульт. *Российский психологический журнал*, 16(S2/1), 22–32.
- Эйсмонт, Е.В., Начарова, М.А., Никифорова, Е.В. (2019). Оптимизация психофизиологического состояния детей с задержкой психоречевого развития с помощью метода обратной связи по параметрам ЭЭГ. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия*, 5(4), 214–221.
- Antognini, K., Daum, M.M. (2018). Effects of verb-action congruence on sensorimotor processing of goal-directed actions in two-year-olds: A technical report. *PsyArXiv Preprints*, (g8fu4). <https://doi.org/10.31234/osf.io/g8fu4>
- Antognini, K., Daum, M.M. (2019). Toddlers show sensorimotor activity during auditory verb processing. *Neuropsychologia*, 126, 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.07.022>
- Arbib, M.A. (2005). From monkey-like action recognition to human language: An evolutionary framework for neurolinguistics. *Behavioral and Brain Sciences*, 28(2), 105–124. <https://doi.org/10.1017/S0140525X05000038>
- Bowman, L.C., Bakermans-Kranenburg, M.J., Yoo, K.H., Cannon, E.N., Vanderwert, R.E., Ferrari, P.F., van IJzendoorn, M.H., Fox, N.A. (2017). The mu-rhythm can mirror: Insights from experimental design, and looking past the controversy. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 96, 121–125. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.03.025>
- Choi, D., Dehaene-Lambertz, G., Peña, M., Werker, J.F. (2021). Neural indicators of articulator-specific sensorimotor influences on infant speech perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(20), e2025043118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2025043118>
- Choi, D., Yeung, H.H., Werker, J.F. (2023). Sensorimotor foundations of speech perception in infancy. *Trends in Cognitive Sciences*, 27(8), 773–784. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2023.05.007>
- Cuellar, M., Bowers, A., Harkrider, A.W., Wilson, M., Saltuklaroglu, T. (2012). Mu suppression as an index of sensorimotor contributions to speech processing: Evidence from continuous EEG signals. *International Journal of Psychophysiology*, 85(2), 242–248. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.04.003>
- Davydova, E.Y., Salimova, K.R., Davydov, D.V., Pereverzeva, D.S., Mamokhina, U.A., Danilina, K.K., Tyushkevich, S.A., Gorbachevskaya, N.L. (2023). Understanding Speech in Primary Schoolchildren with Autism Spectrum Disorders and Its Relationship with EEG Characteristics. *Human Physiology*, 49(3), 225–234. <https://doi.org/10.1134/S0362119723700354>

- Fox, N.A., Bakermans-Kranenburg, M.J., Yoo, K.H., Bowman, L.C., Cannon, E.N., Vanderwert, R.E., Van IJzendoorn, M.H. (2016). Assessing human mirror activity with EEG mu rhythm: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 142(3), 291. <https://doi.org/10.1037/bul0000031>
- Franken, M.K., Liu, B.C., Ostry, D.J. (2022). Towards a somatosensory theory of speech perception. *Journal of Neurophysiology*, 128(6), 1683–1695. <https://doi.org/10.1152/jn.00381.2022>
- Hobson, H.M., Bishop, D.V. (2017). The interpretation of mu suppression as an index of mirror neuron activity: Past, present and future. *Royal Society Open Science*, 4(3), 160662. <https://doi.org/10.1098/rsos.160662>
- Hsu, C.W., Huang, C.C., Hsu, C.C.H., Bi, Y., Tzeng, O.J.L., Lin, C.P. (2025). Revisiting human language and speech production network: A meta-analytic connectivity modeling study. *NeuroImage*, 306, 121008. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2025.121008>
- Lebedeva, N.N., Karimova, E.D., Karpichev, V.V., Maltsev, V.Y. (2019). The mirror system of the brain on observation, performance, and imagination of motor tasks — neurophysiological reflection of the perception of another Person's consciousness. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 49, 714–722. <https://doi.org/10.1007/s11055-019-00791-3>
- Larionova, E.V., Garakh, Z.V., Zaytseva, Y.S. (2022). The Mu Rhythm in Current Research: Theoretical and Methodological Aspects. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 52(7), 999–1016. <https://doi.org/10.1007/s11055-022-01329-w>
- Michaelis, K., Miyakoshi, M., Norato, G., Medvedev, A.V., Turkeltaub, P.E. (2021). Motor engagement relates to accurate perception of phonemes and audiovisual words, but not auditory words. *Communications Biology*, 4(1), 108. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01634-5>
- Mikhailova, A.A., Orekhova, L.S., Dyagileva, Y.O., Mukhtarimova, T.I., Pavlenko, V.B. (2021). Reactivity of the EEG μ rhythm on observing and performing actions in young children with different levels of receptive speech development. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 51(1), 85–92. <https://doi.org/10.1007/s11055-020-01042-6>
- Mitiureva, D., Bobrov, P., Rebreikina, A., Sysoeva, O. (2023). An inclusive paradigm to study mu-rhythm properties. *International Journal of Psychophysiology*, 190, 42–55. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.05.353>
- Mkrtychian, N.A., Kostromina, S.N., Gnedykh, D.S., Tsvetova, D.M., Blagovechchenski, E.D., Shtyrov, Y.Y. (2021). Psychological and electrophysiological correlates of word learning success. *Psychology in Russia: State of the Art*, 14(2), 171–192. <https://doi.org/10.11621/pir.2021.0211>
- Ohashi, H., Ostry, D.J. (2021). Neural development of speech sensorimotor learning. *Journal of Neuroscience*, 41(18), 4023–4035. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2884-20.2021>
- Oliveira, D.S., Saltuklaroglu, T., Thornton, D., Jenson, D., Harkrider, A.W., Rafferty, M.B., Casenhiser, D.M. (2021). Mu rhythm dynamics suggest automatic activation of motor and premotor brain regions during speech processing. *Journal of Neurolinguistics*, 60, 101006. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2021.101006>
- Patzwald, C., Matthes, D., Elsnér, B. (2020). Eighteen-month-olds integrate verbal cues into their action processing: Evidence from ERPs and mu power. *Infant Behavior and Development*, 58, 101414. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2019.101414>
- Pfurtscheller, G., Neuper, C. (1997). Motor imagery activates primary sensorimotor area in humans. *Neuroscience Letters*, 239(2-3), 65–68. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(97\)00889-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(97)00889-6)
- Rauschecker, J.P., Scott, S.K. (2009). Maps and streams in the auditory cortex: Nonhuman primates illuminate human speech processing. *Nature Neuroscience*, 12(6), 718–724. <https://doi.org/10.1038/nn.2331>
- Salo, V.C., Debnath, R., Rowe, M.L., Fox, N.A. (2023). Experience with pointing gestures facilitates infant vocabulary growth through enhancement of sensorimotor brain activity. *Developmental Psychology*, 59(4), 676. <https://doi.org/10.1037/dev0001493>
- Saltuklaroglu, T., Bowers, A., Harkrider, A.W., Casenhiser, D., Reilly, K.J., Jenson, D.E., Thornton, D. (2018). EEG mu rhythms: Rich sources of sensorimotor information in speech processing. *Brain and Language*, 187, 41–61. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2018.09.005>
- Shtyrov, Y., Butorina, A., Nikolaeva, A., Stroganova, T. (2014). Automatic ultrarapid activation and inhibition of cortical motor systems in spoken word comprehension. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(18), E1918–E1923. <https://doi.org/10.1073/pnas.1323158111>
- Stroganova, T.A., Komarov, K.S., Goiaeva, D.E., Obukhova, T.S., Ovsiannikova, T.M., Prokofyev, A.O., Orekhova, E.V. (2022). Effects of the Periodicity and Vowelness of Sounds on Auditory Cortex Responses in Children. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 52(3), 395–404.
- Warreyn, P., Ruysschaert, L., Wiersma, J.R., Handl, A., Pattyn, G., Roeyers, H. (2013). Infants' mu suppression during the observation of real and mimicked goal-directed actions. *Developmental Science*, 16(2), 173–185. <https://doi.org/10.1111/desc.12014>
- Willens, R.M., Hagoort, P., Casasanto, D. (2010). Body-specific representations of action verbs: Neural evidence from right- and left-handers. *Psychological Science*, 21(1), 67–74. <https://doi.org/10.1177/0956797609354072>

REFERENCES

- Antognini, K., Daum, M.M. (2018). Effects of verb-action congruence on sensorimotor processing of goal-directed actions in two-year-olds: A technical report. *PsyArXiv Preprints*, (g8fu4). <https://doi.org/10.31234/osf.io/g8fu4>
- Antognini, K., Daum, M.M. (2019). Toddlers show sensorimotor activity during auditory verb processing. *Neuropsychologia*, 126, 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.07.022>
- Arbib, M.A. (2005). From monkey-like action recognition to human language: An evolutionary framework for neurolinguistics. *Behavioral and Brain Sciences*, 28(2), 105–124. <https://doi.org/10.1017/S0140525X05000038>
- Belalov, V.V., Bazanova, O.M., Mikhailova, A.A., Dyagileva, Y.O., Pavlenko, V.B. (2020). Reactivity of the EEG mu-rhythm in speech perception in children aged two to three and a half years: the influence of upbringing conditions. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti im. I.P. Pavlova = Journal of Higher Nervous Activity named after I.P. Pavlova*, 70(2), 193–205. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0044467720020045>
- Bowman, L.C., Bakermans-Kranenburg, M.J., Yoo, K.H., Cannon, E.N., Vanderwert, R.E., Ferrari, P.F., van IJzendoorn, M.H., Fox, N.A. (2017). The mu-rhythm can mirror: Insights from experimental design, and looking past the controversy. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 96, 121–125. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.03.025>

- Choi, D., Dehaene-Lambertz, G., Peña, M., Werker, J.F. (2021). Neural indicators of articulator-specific sensorimotor influences on infant speech perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(20), e2025043118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2025043118>
- Choi, D., Yeung, H.H., Werker, J.F. (2023). Sensorimotor foundations of speech perception in infancy. *Trends in Cognitive Sciences*, 27(8), 773–784. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2023.05.007>
- Cuellar, M., Bowers, A., Harkrider, A.W., Wilson, M., Saltuklaroglu, T. (2012). Mu suppression as an index of sensorimotor contributions to speech processing: Evidence from continuous EEG signals. *International Journal of Psychophysiology*, 85(2), 242–248. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.04.003>
- Davydova, E.Y., Salimova, K.R., Davydov, D.V., Pereverzeva, D.S., Mamokhina, U.A., Danilina, K.K., Tyushkevich, S.A., Gorbachevskaya, N.L. (2023). Understanding Speech in Primary Schoolchildren with Autism Spectrum Disorders and Its Relationship with EEG Characteristics. *Human Physiology*, 49(3), 225–234. <https://doi.org/10.1134/S0362119723700354>
- Eismont, E.V., Nacharova, M.A., Nikiforova, E.V. (2019). Optimization of the psychophysiological state of children with delayed psychoverbal development using the feedback method based on EEG parameters. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya = Scientific notes of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, 5(4), 214–221. (In Russ.)
- Fox, N.A., Bakermans-Kranenburg, M.J., Yoo, K.H., Bowman, L.C., Cannon, E.N., Vanderwert, R.E., Van IJzendoorn, M.H. (2016). Assessing human mirror activity with EEG mu rhythm: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 142(3), 291. <https://doi.org/10.1037/bul0000031>
- Franken, M.K., Liu, B.C., Ostry, D.J. (2022). Towards a somatosensory theory of speech perception. *Journal of Neurophysiology*, 128(6), 1683–1695. <https://doi.org/10.1152/jn.00381.2022>
- Hobson, H.M., Bishop, D.V. (2017). The interpretation of mu suppression as an index of mirror neuron activity: Past, present and future. *Royal Society Open Science*, 4(3), 160662. <https://doi.org/10.1098/rsos.160662>
- Hsu, C.W., Huang, C.C., Hsu, C.C.H., Bi, Y., Tzeng, O.J.L., Lin, C.P. (2025). Revisiting human language and speech production network: A meta-analytic connectivity modeling study. *NeuroImage*, 306, 121008. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2025.121008>
- Lebedeva, N.N., Karimova, E.D., Karpichev, V.V., Maltsev, V.Y. (2019). The mirror system of the brain on observation, performance, and imagination of motor tasks — neurophysiological reflection of the perception of another Person's consciousness. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 49, 714–722. <https://doi.org/10.1007/s11055-019-00791-3>
- Larionova, E.V., Garakh, Z.V., Zaytseva, Y.S. (2022). The Mu Rhythm in Current Research: Theoretical and Methodological Aspects. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 52(7), 999–1016. <https://doi.org/10.1007/s11055-022-01329-w>
- Michaelis, K., Miyakoshi, M., Norato, G., Medvedev, A.V., Turkeltaub, P.E. (2021). Motor engagement relates to accurate perception of phonemes and audiovisual words, but not auditory words. *Communications Biology*, 4(1), 108. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01634-5>
- Mikhailova, A.A., Orekhova, L.S., Dyagileva, Y.O., Mukhtarimova, T.I., Pavlenko, V.B. (2021). Reactivity of the EEG μ rhythm on observing and performing actions in young children with different levels of receptive speech development. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 51(1), 85–92. <https://doi.org/10.1007/s11055-020-01042-6>
- Mitiureva, D., Bobrov, P., Rebreikina, A., Syssoeva, O. (2023). An inclusive paradigm to study mu-rhythm properties. *International Journal of Psychophysiology*, 190, 42–55. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.05.353>
- Nacharova, M.A., Mikhailova, A.A., Govorun, Ya.Yu., Portugalskaya, A.A., Pavlenko, V.B. (2020). Neurophysiological mechanisms of speech perception and their features in children under normal conditions and with developmental disorders. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya = Scientific Notes of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, 6(3), 146–162. (In Russ.). <https://doi.org/10.37279/2413-1725-2020-6-3-146-162>
- Mkrtychian, N.A., Kostromina, S.N., Gnedikh, D.S., Tsvetova, D.M., Blagovechtchenski, E.D., Shtyrov, Y.Y. (2021). Psychological and electrophysiological correlates of word learning success. *Psychology in Russia: State of the Art*, 14(2), 171–192. <https://doi.org/10.11621/psr.2021.0211>
- Ohashi, H., Ostry, D.J. (2021). Neural development of speech sensorimotor learning. *Journal of Neuroscience*, 41(18), 4023–4035. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2884-20.2021>
- Oliveira, D.S., Saltuklaroglu, T., Thornton, D., Jenson, D., Harkrider, A.W., Rafferty, M.B., Casenhiser, D.M. (2021). Mu rhythm dynamics suggest automatic activation of motor and premotor brain regions during speech processing. *Journal of Neurolinguistics*, 60, 101006. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2021.101006>
- Pavlova, P.A. (2019). Electroencephalographic correlates of cognitive deficits in children who have suffered perinatal arterial ischemic stroke. *Rossijskij psihologicheskij zhurnal = Russian Psychological Journal*, 16(S2/1), 22–32. (In Russ.)
- Patzwald, C., Matthes, D., Elsner, B. (2020). Eighteen-month-olds integrate verbal cues into their action processing: Evidence from ERPs and mu power. *Infant Behavior and Development*, 58, 101414. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2019.101414>
- Pfurtscheller, G., Neuper, C. (1997). Motor imagery activates primary sensorimotor area in humans. *Neuroscience Letters*, 239(2-3), 65–68. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(97\)00889-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(97)00889-6)
- Rauschecker, J.P., Scott, S.K. (2009). Maps and streams in the auditory cortex: Nonhuman primates illuminate human speech processing. *Nature Neuroscience*, 12(6), 718–724. <https://doi.org/10.1038/nn.2331>
- Salo, V.C., Debnath, R., Rowe, M.L., Fox, N.A. (2023). Experience with pointing gestures facilitates infant vocabulary growth through enhancement of sensorimotor brain activity. *Developmental Psychology*, 59(4), 676. <https://doi.org/10.1037/dev0001493>
- Saltuklaroglu, T., Bowers, A., Harkrider, A.W., Casenhiser, D., Reilly, K.J., Jenson, D.E., Thornton, D. (2018). EEG mu rhythms: Rich sources of sensorimotor information in speech processing. *Brain and Language*, 187, 41–61. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2018.09.005>
- Shtyrov, Y., Butorina, A., Nikolaeva, A., Stroganova, T. (2014). Automatic ultrarapid activation and inhibition of cortical motor systems in spoken word comprehension. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(18), E1918–E1923. <https://doi.org/10.1073/pnas.1323158111>
- Stroganova, T.A., Komarov, K.S., Goiaeva, D.E., Obukhova, T.S., Ovsiannikova, T.M., Prokofyev, A.O., Orekhova, E.V. (2022). Effects of the Periodicity and Vowelness of Sounds on Auditory Cortex Responses in Children. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 52(3), 395–404.
- Warren, P., Ruysschaert, L., Wiersma, J.R., Handl, A., Pattyn, G., Roeyers, H. (2013). Infants' mu suppression during the observation of real and mimicked goal-directed actions. *Developmental Science*, 16(2), 173–185. <https://doi.org/10.1111/desc.12014>
- Willems, R.M., Hagoort, P., Casasanto, D. (2010). Body-specific representations of action verbs: Neural evidence from right- and left-handers. *Psychological Science*, 21(1), 67–74. <https://doi.org/10.1177/0956797609354072>

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ
ABOUT THE AUTHORS**



**Владимир Алексеевич
Липатов**

Аспирант Научного центра когнитивных исследований, младший научный сотрудник Университета «Сириус», Краснодарский край, Российская Федерация, lipatov.va@talantiuspeh.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0134-1988>

Vladimir A. Lipatov

Postgraduate Student, Scientific Center for Cognitive Research, Junior Researcher, “Sirius University of Science and Technology”, Krasnodar Region, Russian Federation, lipatov.va@talantiuspeh.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0134-1988>



**Полина Алексеевна
Павлова**

Специалист-исследователь Университета «Сириус», Краснодарский край, Российская Федерация, pavlova.pa@talantiuspeh.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4263-0484>

Polina A. Pavlova

Researcher, “Sirius University of Science and Technology”, Krasnodar Region, Russian Federation, pavlova.pa@talantiuspeh.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4263-0484>



**Анна Борисовна
Ребрейкина**

Кандидат биологических наук, научный сотрудник Университета «Сириус», Краснодарский край, Российская Федерация; научный сотрудник Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва, Российская Федерация, rebreykina.ab@talantiuspeh.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5714-2040>

Anna B. Rebreikina

Cand. Sci. (Biology), Research Associate, “Sirius University of Science and Technology”, Krasnodar Region, Russian Federation; Research Associate, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, rebreykina.ab@talantiuspeh.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5714-2040>



**Ольга Владимировна
Сысоева**

Кандидат психологических наук, руководитель направления «Развитие человека: мозг и психика» Университета «Сириус», Краснодарский край, Российская Федерация; ведущий научный сотрудник лаборатории высшей нервной деятельности человека Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва, Российская Федерация, sysoeva.ov@talantiuspeh.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4005-9512>

Olga V. Sysoeva

Cand. Sci. (Psychology), Head of Human Development: Brain and Psyche, “Sirius University of Science and Technology”, Krasnodar Region, Russian Federation; Senior Researcher, Laboratory of Higher Nervous Activity, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, sysoeva.ov@talantiuspeh.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4005-9512>

Поступила 04.04.2025. Получена после доработки 12.05.2025. Принята в печать 07.06.2025.

Received 04.04.2025. Revised 12.05.2025. Accepted 07.06.2025.