

УДК 612.821; 612.825

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-1-156-168

АКТИВНОСТЬ ЗЕРКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОЗГА ПРИ ВОСПРИЯТИИ РЕЧИ И ЕЕ ВЗАИМОСВЯЗЬ С УРОВНЕМ ИНТЕЛЛЕКТА И ЭМПАТИИ

Португальская А. А., Левенчик Г. Я., Павленко В. Б.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: a.portugalskaya@gmail.com*

У 25 здоровых мужчин и женщин исследовали связь между активностью зеркальной системы мозга (ЗСМ) при восприятии речи, показателями интеллекта и эмпатии. Предъявление испытуемым речевых высказываний сопровождалось изменениями амплитуды мю-ритма ЭЭГ, наиболее выраженными через 0,3–0,5 с после окончания ключевых слов. При восприятии фраз, описывающих физическое действие, выявлена десинхронизация мю-ритма, что расценивается как возможная активация ЗСМ. Восприятие абсурдных словосочетаний сопровождалось его синхронизацией. Испытуемые с наиболее высокими показателями интеллекта при восприятии правильной фразы демонстрировали наибольшую активацию ЗСМ. При восприятии абсурдной фразы наибольшая активация ЗСМ выявлена у испытуемых с высокими показателями эмпатии. Полученные результаты рассматриваются как свидетельство участия ЗСМ в восприятии и осознании речевых сообщений, описывающих физические действия человека.

Ключевые слова: зеркальные нейроны, ЭЭГ, речь, интеллект, эмпатия.

ВВЕДЕНИЕ

Под зеркальной системой мозга (ЗСМ) или системой зеркальных нейронов понимают совокупность определённых нейронных сетей, активизирующихся как при целенаправленных моторных актах человека, так и при наблюдении за выполнением этих действий другими или при воображении таких движений. Ансамбли зеркальных нейронов человека располагаются в различных структурах головного мозга, но выполняют единые функции: понимание намерений, эмоций и особенностей мышления других людей, реализация механизмов сопереживания, обучения и подражания. Активация системы зеркальных нейронов центральных регионов неокортекса сопровождается десинхронизацией разновидности альфа-активности ЭЭГ – мю-ритма (см. обзор [1]).

Зеркальные нейроны также являются важнейшей подгруппой нервных клеток, входящих в т.н. «контуры восприятия-действия» [2]. В частности, такие контуры состоят из нервных клеток, способных обеспечивать как восприятие речевых сигналов, так и их генерацию. Выдвинута гипотеза, что именно появление системы зеркальных нейронов в процессе эволюции могло быть ключевым механизмом, обеспечившим появление речи у человека [3]. Восприятие речи тесно связано с вербальным интеллектом, под которым понимают способность человека к овладению языком и оперированию вербальным материалом. В основе тестов,

измеряющих вербальный интеллект, лежит предположение о том, что существует тесная связь между функционированием интеллекта и лингвистическими навыками.

На сегодняшний день выявлено наличие связи между ЗСМ и речевыми процессами (см. обзор [4]), однако нейрофизиологические механизмы восприятия речи требуют дальнейшего анализа. Одним из наиболее оптимальных способов их изучения является регистрация и последующий анализ ЭЭГ. По изменениям ритмов ЭЭГ можно судить о закономерностях переработки информации при восприятии речевых высказываний. [5, 6].

Восприятие особенностей поведения человека, в том числе его речи, способно вызывать эмоциональные реакции у окружающих, основанные на эмпатии. Под эмпатией понимается способность субъекта ставить себя на место другого человека, воспринимать и испытывать эмоциональные реакции других людей, им сопереживать. Эмпатия помогает людям в формировании межличностных отношений и необходима для взаимодействия в социуме. В основе формирования эмпатии и социальных навыков лежат механизмы подражания и обработки информации о поведении других людей. В нашей лаборатории ранее было выполнено исследование [7], позволившее выявить связь между уровнем развития ЗСМ и чертами личности, определяющими эмпатию.

Несмотря на наличие ряда вышеупомянутых исследований взаимосвязи между функционированием ЗСМ, уровнем интеллекта, эмпатии и особенностями восприятия речи индивида остаются недостаточно изученными. В связи с этим целью настоящей работы являлось выявление связи реактивности ритмов ЭЭГ в процессе восприятия речевых высказываний с уровнем интеллекта и степенью развития/выраженности эмпатии человека.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 25 здоровых взрослых испытуемых, студентов КФУ им. В. И. Вернадского в возрасте от 18 до 35 лет (10 мужчин и 15 женщин). От всех его участников было получено информированное согласие. Эксперимент был построен таким образом, чтобы идентифицировать ЭЭГ-корреляты активности ЗСМ при выполнении движений и наблюдении за ними, а затем выявить изменения соответствующих ритмов ЭЭГ при переработке речевой информации.

Регистрация ЭЭГ производилась в три этапа: в процессе наблюдения за видеозаписью круговых движений руки с компьютерной мышью с переменной скоростью (1), при самостоятельном выполнении таких движений (2), а также во время восприятия аудиозаписей стихотворений (3). В последнем случае каждый участник с закрытыми маской глазами прослушал три варианта аудиозаписей длительностью по 17 с. Первый стимульный материал представлял собой подлинный фрагмент стихотворения Бродского «Воспоминания» [8]. Во фрагменте присутствовала фраза: «Я поднимаю руки и голову поднимаю». Во втором стимульном материале была произведена замена вышеупомянутого предложения на абсурдный в данном контексте: «Я оббегаю руки и голову оббегаю». В третьем варианте указанное выше выражение было заменено не подходящими по смыслу

словами «Я поднимаю рейтинг и статус свой поднимаю». Варианты аудиозаписи предъявлялись в различном порядке с целью нейтрализации эффекта последовательности. Для повышения концентрации внимания перед участниками исследования была поставлена задача определения настоящего стихотворения И. Бродского. В предъявляемой инструкции также было указано, что особое внимание следует обращать на глаголы. Во время эксперимента велась непрерывная видео- и аудиозапись, синхронизированная с регистрацией ЭЭГ.

ЭЭГ регистрировали при помощи 21-канального электроэнцефалографа «Мицар-ЭЭГ-10/70-201» (ООО «Мицар», г. Санкт-Петербург) в диапазоне частот от 1 до 30 Гц. В соответствии с международной системой наложения электродов 10–20 монополярно отводились ЭЭГ-потенциалы от фронтальных, центральных, затылочных, теменных и височных локусов. Референтным электродом служили объединенные контакты, закрепленные на мочках ушей. Областью интереса в настоящем исследовании были выбраны отведения T5 и T6, расположенные над областями неокортекса, отвечающими за восприятие речи, а также C3 и C4, соответствующие моторной и сенсомоторной коре. В указанных областях предполагается наличие зеркальных нейронов, активирующихся при восприятии движений других людей и их речевых сообщений. Как уже отмечалось выше, показателем их активации считают десинхронизацию разновидностей альфа-ритма: тау-ритма ЭЭГ в височной коре и мио-ритма в центральных областях неокортекса.

Записи ЭЭГ были предварительно оценены визуально. Участки записей, содержащие большое количество артефактов, были исключены из дальнейшей обработки.

Обработка ЭЭГ, записанной при выполнении движений и их восприятии, производилась с помощью спектрального анализа на основе алгоритмов быстрых преобразований Фурье (программа WinEEG, ООО «Мицар»). Анализировали участки записи по 30 с («Фон», «Наблюдение», «Движение»). В качестве фоновой записи была выбрана запись ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования со зрительной фиксацией на статичной точке. Определяли амплитуду ЭЭГ в частотном диапазоне 9,0–14,0 Гц. Были рассчитаны индексы реактивности (ИР) как натуральные логарифмы отношений средней амплитуды ЭЭГ при выполнении задачи на наблюдение и выполнение движений («Наблюдение», «Движение») к средней амплитуде ЭЭГ на участке «Фон».

Для обработки ЭЭГ, зарегистрированной при восприятии речи, было использовано вейвлет-преобразование. Математический аппарат вейвлет-преобразования в указанном случае был выбран исходя из следующих соображений: переводя сигнал из временного представления в частотно-временное, вейвлет-преобразование позволяет определить изменения ритмов ЭЭГ с относительно высоким временным разрешением вплоть до десятых долей секунды [9]. В силу быстроты процесса восприятия речевых высказываний данный метод обработки представляется наиболее подходящим. ЭЭГ, записанная в процессе восприятия фрагментов стихотворений, была экспортирована в edf-формате и обработана с помощью вейвлет-анализа (вейвлет Хаара) в программе «Нейрон-

Спектр.NET» версии 1.6.4.3 (ООО «Нейрософт», г. Иваново) по представленному ниже алгоритму.

1. Курсором мыши были выделены фрагменты ЭЭГ, соответствующие восприятию 17-секундной аудиозаписи, а также интервалы длительностью 1 с непосредственно до и после предъявления стихотворения.

2. Для выделенного фрагмента длительностью 19 с во вкладке функционального меню «Анализ» была выбрана опция «Вейвлет-анализ».

3. В окне вейвлет-анализа для отведений T5, T6, C3, C4 были построены двумерные графики с размахом амплитуды, кодируемым цветом, в 50 мкВ, а также соответствующие им таблицы.

4. Из каждой построенной таблицы для дальнейшей обработки были извлечены коэффициенты вейвлет-анализа, отражающие степень выраженности частот, соответствующих альфа-ритму (9,7–12,0 и 12,0–14,3 Гц).

5. На основании извлечённых коэффициентов вейвлет-анализа были вычислены ИР (аналогично тому, как это делалось при обработке ЭЭГ, сопровождающей движения), отражающие изменение мио-ритма в результате восприятия определённых речевых высказываний («Я поднимаю руки и голову поднимаю» и двух других вариантов). В качестве фона были выбраны записи ЭЭГ продолжительностью 1 с непосредственно перед началом воспроизведения аудиозаписи.

У всех испытуемых был оценен уровень интеллекта и эмпатии. Показатели вербального, невербального и общего интеллекта участников были определены с помощью теста Векслера. При дальнейшей обработке данных также использовались стандартизованные показатели всех 11 шкал, соответствующих субтестам данной методики [10].

Для оценки эмпатии испытуемые прошли ряд психологических тестов дистанционно, с использованием сайта psytest.org, в удобных для себя условиях. Общий уровень эмпатии испытуемого определялся с помощью методики диагностики уровня эмпатических способностей В.В. Бойко. Был определён суммарный (общий) показатель эмпатии, а также значения по шести шкалам (рациональный канал, эмоциональный канал, интуитивный канал, установки, проникающая способность, идентификация). С помощью опросника эмоциональной эмпатии А. Мехрабиана и Н. Эпштейна были определены эмпатические тенденции участников эксперимента. Для определения уровня сопереживания был выбран опросник «Уровень сопереживания» С. Барон-Коэн и С. Уилрайт в модификации В. Косоногова. С помощью данной методики была определена способность участников к пониманию и воспроизведению эмоциональных состояний других людей. Диагностика алекситимии осуществлялась при помощи Торонтской алекситимической шкалы Дж. Тейлора и соавторов (TAS-26), была определена способность испытуемых к распознаванию телесных ощущений и эмоциональных реакций.

Полученные данные были обработаны с применением статистического пакета программ «STATISTICA 12». Вид распределения оценивали критерием Шапиро-Уилка. В случае нормального распределения данных применяли параметрические критерии обработки, если распределение отличалось от нормального –

непараметрические. Так, сравнение ИР в разных ситуациях было выполнено с помощью критерия Стьюдента для попарно связанных вариантов, а взаимосвязь между значениями ИР и психологическими показателями оценивалась с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

Настоящее исследование было проведено в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдение за движениями руки с компьютерной мышью на экране монитора и самостоятельное выполнение подобных движений сопровождалось у испытуемых снижением мощности ЭЭГ в частотном диапазоне 9–14 Гц. Указанный диапазон соответствует частоте осцилляций альфа-ритма и его разновидностям – мю- и тау-ритмам ЭЭГ в центральных и височных корковых регионах, соответственно [12, 13]. ИР, рассчитанные по вышеприведенной формуле, имели отрицательные значения (рис. 1), что свидетельствует об активации соответствующих областей коры в исследуемых ситуациях. Наибольшее снижение мощности выявлено при самостоятельном выполнении движений, но наличие подобной, хотя и менее выраженной, реакции при наблюдении за движениями позволяет предположить, что определенный вклад в динамику активности неокортекса в данной ситуации вносит активация нейронов ЗСМ [7, 1]. Интересно, что такая активация выявлена в нашем исследовании не только в центральных, но и в височных областях неокортекса, что может быть связано с общей активацией процессов внимания. Не исключено, что выраженная десинхронизация тау-ритма при выполнении движений может быть также связана с восприятием характерных звуков при перемещении компьютерной мыши.

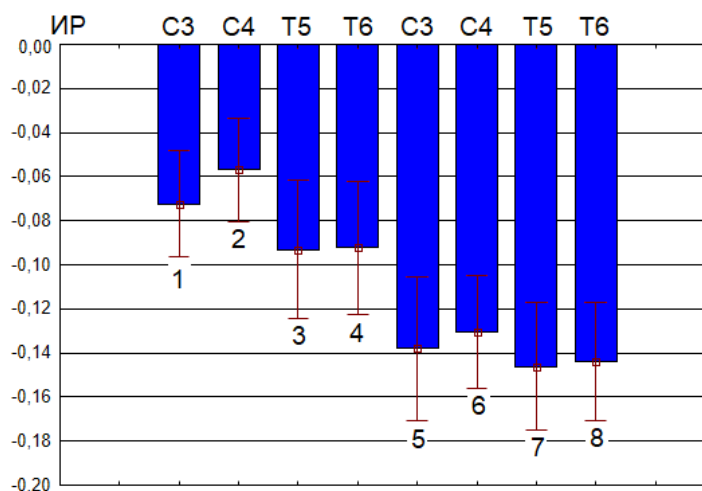


Рис. 1. Значения показателей индексов реактивности (ИР) ЭЭГ в частотном диапазоне 9–14 Гц при наблюдении испытуемыми движений (1–4) и их выполнении (5–8). Приведены средние значения и ошибки среднего. Вверху обозначены точки отведений ЭЭГ.

Предъявление участникам исследований речевых высказываний также сопровождалось изменением амплитуды ЭЭГ, в том числе и в диапазоне альфа-ритма. Визуальный анализ двумерных диаграмм результатов вейвлет-преобразований показал, что переработка информации при восприятии фрагмента фразы «Я поднимаю руки и голову поднимаю» у большинства испытуемых отражалась в десинхронизации указанного ритма (рис. 2, а). В то же время, восприятие абсурдного словосочетания «Я оббегаю руки и голову оббегаю» чаще сопровождалось усилением осцилляций ЭЭГ в диапазоне альфа-ритма (рис. 2, б). При этом, наиболее выраженные изменения ЭЭГ развивались через 0,3–0,5 с после окончания ключевых слов. Несколько менее выраженные изменения паттерна ЭЭГ развивались при предъявлении фразы «Я поднимаю рейтинг и статус свой поднимаю».

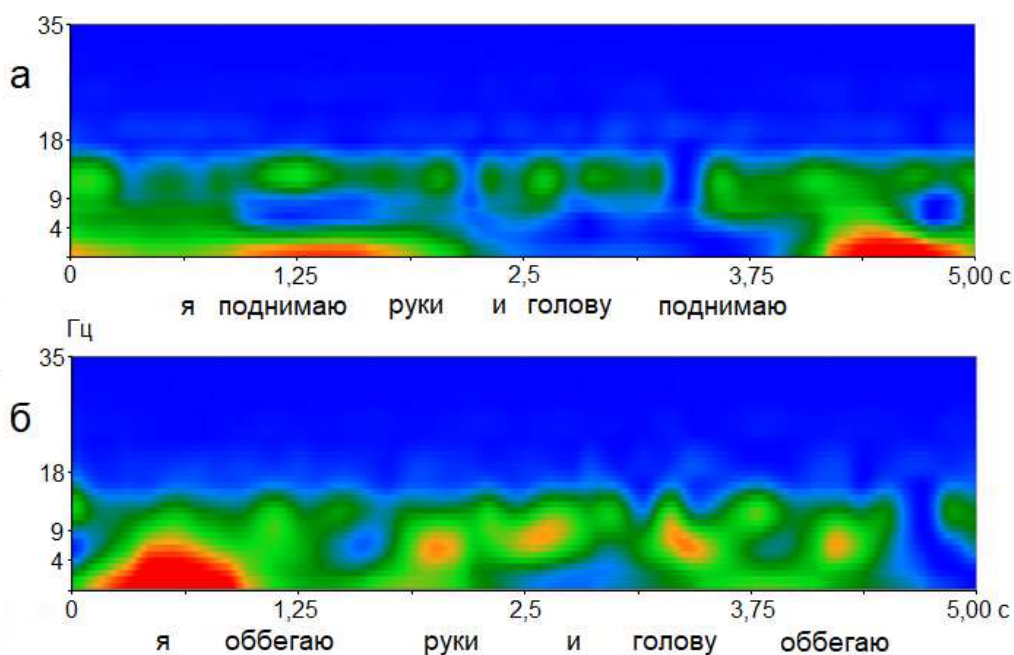


Рис. 2. Паттерн изменений ЭЭГ испытуемого А.С. в отведении С3 при восприятии логичных (а) и абсурдных (б) речевых сообщений (по данным вейвлет-анализа). По вертикали – частота, Гц; по горизонтали: время, с. Слова расположены на временной оси в соответствии с моментом их предъявления. Цвет отражает величину коэффициента вейвлета, пропорционального амплитуде сигнала.

Для дальнейшего анализа был выбран частотный диапазон ЭЭГ 9,7–12,0 Гц. ИР были рассчитаны для фрагментов фраз «я поднимаю руки» и «я оббегаю руки» во временном интервале 0,5–2,4 с. Средние значения ИР для группы испытуемых при восприятии адекватного словосочетания имели отрицательные значения, что указывает на десинхронизацию альфа-ритма в данном диапазоне и, следовательно,

активацию соответствующих участков коры мозга (рис. 3, колонки 1, 3, 5, 7). Наличие одновременной десинхронизации мю-ритма в центральных областях коры и тау-ритма в височных регионах неокортекса при восприятии речевых сообщений отмечалось также Т. Saltuklaroglu и соавторами [14].

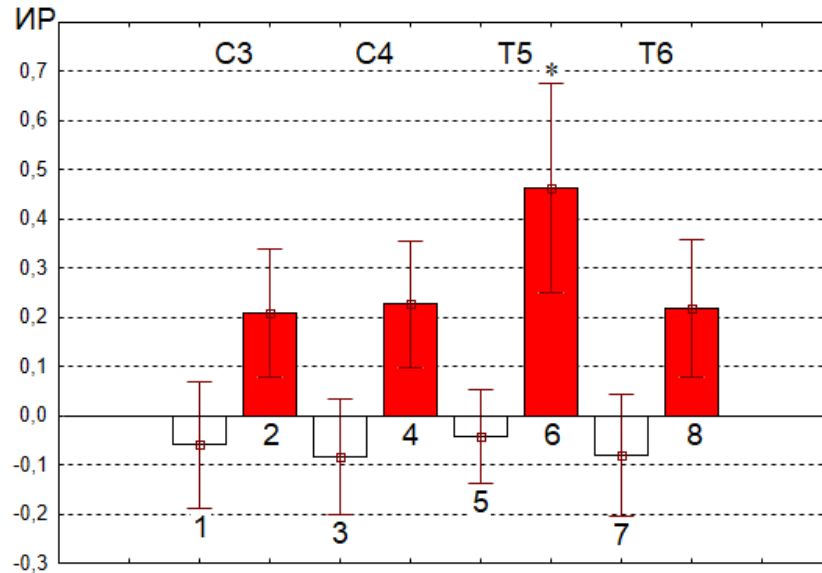


Рис. 3. Значения показателей индексов реактивности (ИР) ЭЭГ при восприятии правильного (1, 3, 5, 7) и абсурдного (2, 4, 6, 8) варианта фраз. * – различия при восприятии вариантов фраз достоверны при $P \leq 0,05$. Остальные обозначения как на рис. 1.

В нашем исследовании выявлена десинхронизация мю- и тау-ритмов как при наблюдении за движениями руки с компьютерной мышью, так и при восприятии речевого сообщения, описывающего действие с участием рук. Ряд авторов также отмечали снижение мощности мю-ритма ЭЭГ при восприятии речи и высказали гипотезы о природе активации неокортекса при восприятии предложений, описывающих физическое действие. Согласно одной из них, представленной в работе I. Mogeno и соавторами [15], восприятие и понимание таких речевых высказываний активирует моторные сети в человеческом мозге. Эта активация соответствует семантической интеграции нескольких слов в предложении, включая глагол действия. Таким образом, ключевым моментом является активация моторных репрезентаций, общих для наблюдаемых действий и восприятия их словесных описаний. При этом авторы указанной публикации отмечают, что пока недостаточно информации для однозначного ответа на вопрос: отражает ли десинхронизация мю-ритма активацию обычных двигательных нейронов или активации зеркальных нервных клеток. Чтобы выявить роль, которую в конечном итоге играют зеркальные нейроны в языке действий, потребуются новые

исследования. Согласно другой гипотезе [16], активация неокортекса при обработке глаголов действия обеспечивается двунаправленными связями между слуховой и моторной корой, основанными на актуализации общих сенсорных репрезентаций. Третья группа исследователей рассматривает синхронную активацию указанных зон неокортекса как отражение сенсомоторной интеграции с участием прямой (моторно-слуховой) и обратной (слухо-моторной) связи, что обеспечивает категоризации звуков речи с участием моторной системы [14], а также сохранение информации в рабочей памяти путем скрытой артикуляции [17].

Восприятие абсурдного словосочетания сопровождалось синхронизацией ЭЭГ в указанном частотном диапазоне (рис. 3, колонки 2, 4, 6, 8). Другие авторы [18, 19] также отмечали увеличение мощности ЭЭГ в диапазоне альфа-ритма при восприятии речевых сообщений. При этом мощность осцилляций нарастала вплоть до завершения фразы и была тем выше, чем продолжительнее и сложнее было предъявленное предложение. Была высказана гипотеза, что усиление альфа-активности связано с консолидацией ранее представленных языковых стимулов в рабочей памяти, предшествующей семантическому объединению существительных и глаголов. Такая консолидация требует сочетания процессов возбуждения и торможения в разных регионах коры больших полушарий. В нашем эксперименте восприятие абсурдного словосочетания, включающее осознание его противоречия здравому смыслу, по всей видимости, требовало наибольшего напряжения процессов памяти с попыткой активного торможения иррелевантной информации. Совокупность таких процессов и приводила к росту амплитуды мю-и тау-ритмов в центральных и височных областях неокортекса.

Как отмечалось выше, у участников исследования оценивали уровень интеллекта и психологических характеристик, ассоциированных с эмпатией. Данные психологического тестирования приведены в таблице 1. Уровень интеллекта испытуемых был в среднем выше нормы, которая составляет 100 баллов. Среднее значение общего уровня эмпатии по опроснику В. В. Бойко у участников исследования было несколько ниже средней величины для популяции (22–29 баллов). Среднее значение эмпатических тенденций по опроснику эмоциональной эмпатии А. Мехрабиана и Н. Эпштейна также находится на низком уровне (12–36 баллов). Средний показатель уровня сопереживания находился в пределах средних значений для популяции (32–51 балл). Средний уровень алекситимии соответствовал показателям популяции здоровых людей. В то же время, как видно из данных таблицы, у разных участников исследования психологические показатели значительно различались, что предоставляло возможность выявления их взаимосвязей с показателями реактивности ЭЭГ с помощью корреляционного анализа.

Результаты корреляционного анализа взаимосвязей психологических характеристик участников исследования и ИР ЭЭГ при восприятии ключевых фрагментов речевых сообщений представлены в таблице 2. Из таблицы видно, что показатели вербального и одной из шкал невербального интеллекта (субтест «Шифровка») значимо коррелировали с ИР ЭЭГ при восприятии фразы «Я поднимаю руки». При этом, чем выше были показатели интеллекта, тем сильнее подавлялась амплитуда мю-ритма ЭЭГ в центральных отведениях.

Таблица 1.
Значения показателей психологического тестирования группы испытуемых (баллы)

Психологическая переменная	Среднее значение и его ошибка	Минимальное значение	Максимальное значение
Вербальный интеллект	114,9±1,8	96,0	128,0
Невербальный интеллект	108,9±2,3	85,0	125,0
Общий интеллект	113,2±1,8	94,0	127,0
Общий уровень эмпатии	19,5±1,0	12,0	29,0
Рациональный канал эмпатии	3,0±0,3	1,0	5,0
Эмоциональный канал эмпатии	3,0±0,4	0,0	6,0
Интуитивный канал эмпатии	2,6±0,3	0,0	5,0
Установки, способствующие эмпатии	3,8±0,2	2,0	6,0
Проникающая способность эмпатии	3,7±0,3	0,0	6,0
Идентификация в эмпатии	3,5±0,3	1,0	6,0
Эмпатические тенденции	24,5	13,0	32,0
Сопереживание	40,1	13,0	59,0
Алекситимия	62,6	36,0	93,0

Таблица 2.
Взаимосвязь показателей психологического тестирования и индексов реактивности (ИР) ЭЭГ при восприятии фрагментов речевого сообщения

Коррелирующие показатели	Коэффициент корреляции, r	Уровень значимости, P
Вербальный интеллект & ИР «Я поднимаю руки», С4	-0,447	0,025
Субтест «Шифровка» & ИР «Я поднимаю руки», С3	-0,456	0,022
Субтест «Шифровка» & ИР «Я поднимаю руки», С4	-0,542	0,005
Эмоциональный канал эмпатии & ИР «Я оббегаю руки», С3	-0,408	0,043
Эмпатические тенденции & ИР «Я оббегаю руки», С3	-0,481	0,015
Эмпатические тенденции & ИР «Я оббегаю руки», С4	-0,512	0,009
Сопереживание & ИР «Я оббегаю руки», С3	-0,433	0,031
Сопереживание & ИР «Я оббегаю руки», С4	-0,420	0,037

Таким образом, испытуемые с наиболее высокими показателями интеллекта демонстрировали наибольшую активацию ЗСМ при восприятии правильной фразы. В то же время, корреляционный анализ показал, что при восприятии абсурдной фразы «Я оббегаю руки» наибольшая десинхронизация в центральных областях неокортекса выявлена у испытуемых с высокими показателями различных измерений эмпатии (эмоционального канала эмпатии, эмпатических тенденций, сопереживания). Другими словами, в этом случае при переработке словесной информации у них отмечался наименьший прирост амплитуды мю-ритма. С осторожностью интерпретируя полученные результаты, можно предположить, что люди с высоким уровнем эмпатии, т.е. с хорошим развитием эмоционального интеллекта, легче и быстрее осознавали абсурдность указанного словосочетания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Наблюдение за движениями руки с компьютерной мышью на экране монитора и самостоятельное выполнение подобных движений сопровождалось у испытуемых снижением мощности мю- и тау-ритмов ЭЭГ в центральных и височных корковых регионах. Наличие такой реакции при наблюдении за движениями позволяет предположить, что определенный вклад в динамику активности неокортекса в данной ситуации вносит активация нейронов ЗСМ.
2. Предъявление участникам исследований речевых высказываний сопровождалось изменением амплитуды ЭЭГ, в том числе и в диапазоне альфа-ритма. Наиболее выраженные изменения ЭЭГ развивались через 0,3–0,5 с после окончания ключевых слов. Переработка информации при восприятии фразы «Я поднимаю руки и голову поднимаю» у большинства испытуемых отражалась в десинхронизации указанного ритма.
3. Восприятие абсурдного словосочетания «Я оббегаю руки и голову оббегаю» чаще сопровождалось усилением осцилляций ЭЭГ в диапазоне альфа-ритма. Восприятие такого словосочетания, включающее осознание его противоречия здравому смыслу, по всей видимости, требовало наибольшего напряжения процессов памяти с попыткой активного торможения иррелевантной информации. Совокупность таких процессов и приводила к росту амплитуды мю- и тау-ритмов в центральных и височных областях неокортекса.
4. Испытуемые с наиболее высокими показателями интеллекта демонстрировали наибольшую активацию ЗСМ при восприятии правильной фразы. В то же время, при восприятии абсурдной фразы наибольшая десинхронизация в центральных областях неокортекса выявлена у испытуемых с высокими показателями различных измерений эмпатии. Можно предположить, что люди с высоким уровнем эмпатии, т.е. с хорошим развитием эмоционального интеллекта, легче и быстрее осознавали абсурдность указанного словосочетания.
5. Полученные результаты рассматриваются как свидетельство участия ЗСМ в восприятии и осознании речевых сообщений, описывающих физические действия человека.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского» «Экспериментальная физиология и биофизика».

Список литературы

1. Лебедева Н. Н. Система зеркальных нейронов мозга: ключ к обучению, формированию личности и пониманию чужого сознания / Н. Н. Лебедева, А. И. Зуфман, В. Ю. Мальцев // Успехи физиологических наук. – 2017. – Т. 48, Вып. 4. – С. 16–28.
2. Pulvermüller F. Neural reuse of action perception circuits for language, concepts and communication / Pulvermüller F. // Prog Neurobiol. – 2018. – Vol. 160. – P. 1–44.
3. Arbib M. A. From monkey-like action recognition to human language: An evolutionary framework for neurolinguistics / Arbib M. A. // Behavioral and Brain Sciences. – 2015. – Vol. 28. – P. 105–124.
4. Начарова М. А. Нейрофизиологические механизмы восприятия речи и их особенности у детей в норме и при нарушениях развития / М. А. Начарова, А. А. Михайлова, Я. Ю. Говорун, А. А. Португальская, В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2020. – Т. 6, Вып. 3. – С. 146–162.
5. Lam N. H. Neural activity during sentence processing as reflected in theta, alpha, beta, and gamma oscillations / N. H. Lam, J. Schoffelen, J. Uddén, A. Hultén, P. Nagoort // NeuroImage. – 2016. – Vol. 142. – P. 43–54.
6. Mai G. Delta, theta, beta, and gamma brain oscillations index levels of auditory sentence processing / G. Mai, J. W. Minett, W. S. Wang // NeuroImage. – 2016. – Vol. 133. – P. 516–528.
7. Махин С. А. Исследование реактивности мю-ритма при наблюдении, слуховом восприятии и имитации движений: взаимосвязь со свойствами личности, определяющими эмпатию / С. А. Махин, А. А. Макаричева, Н. В. Луцок, В. Б. Павленко // Физиология человека. – 2015. – Т. 41, Вып. 6. – С. 28–35.
8. Бродский И. Собрание сочинений: [в 4-х т.] / Под. ред. В. Марамзина. / Бродский И. – Л.: Самиздат, 1972.
9. Филипский Ю. К. Сравнительный анализ частотно-временных методов обработки сигналов / Ю. К. Филипский, А. Р. Агаджанян // Труды Одесского политехнического университета. – 2009. – Вып. 1 (33), 2 (34). – С. 175–179.
10. Филимоненко Ю. Руководство к методике исследования интеллекта для взрослых Д. Векслера (WAIS) / Ю. Филимоненко, В. Тимофеев. – СПб.: ГП "ИМАТОН". – 1995. – 93 с.
11. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. – JAMA. – 2013. – Vol. 310, No 20. – P. 2191–2194.
12. Bazanova O. M. Interpreting EEG alpha activity / O. M. Bazanova, D. Vernon // Neurosci. Biobehav. Rev. – 2014. – Vol. 44 – P. 94–110.
13. Аликина М. А. Амплитудно-частотные, топографические, возрастные особенности и функциональное значение сенсомоторного ритма ЭЭГ / М. А. Аликина, С. А. Махин, В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2016. – Т. 2 (68), Вып. 2. – С. 3–24.
14. Saltuklaroglu T. EEG mu rhythms: rich sources of sensorimotor information in speech processing / T. Saltuklaroglu, A. Bowers, A. W. Harkrider, D. Casenhiser, K. J. Reilly, D. E. Jenson, D. Thornton // Brain Lang. – 2018. – Vol. 187. – P. 41–61.
15. Moreno I. Brain dynamics in the comprehension of action-related language: a time frequency analysis of mu rhythms / I. Moreno, M. De Vega, I. León, MCM Bastiaansen, A. Glen Lewis, L. Magyari // NeuroImage. – 2015. – Vol. 109. – P. 50–62.
16. Bidet-Ildei C. A review of literature on the link between action observation and action language: advancing a shared semantic theory / C. Bidet-Ildei, S.-A. Beauprez, A. Badets // New Ideas in Psychology. – 2020. – Vol. 58. – PP.100777. DOI: 10.1016/j.newideapsych.2019.100777.
17. Jenson D. Influences of Cognitive Load on Sensorimotor Contributions to Working Memory: An EEG investigation of mu rhythm activity during speech discrimination / D. Jenson, D. Thornton, A. W. Harkrider, T. Saltuklaroglu // Neurobiology of Learning and Memory. – 2019. – Vol. 166. – DOI:10.1016/j.nlm.2019.107098.

18. Meyer L. Left parietal alpha enhancement during working memory-intensive sentence processing / L. Meyer, J. Obleser, A. D. Friederici // *Cortex*. – 2013. – Vol. 49, No 3. – P. 711–721.
19. Schneider J. M. Developmental differences in the neural oscillations underlying auditory sentence processing in children and adults / J. M. Schneider, A. D. Abel, D. A. Ogiela, C. McCord, M. J. Maguire // *Brain Lang.* – 2018. – Vol. 186. – P. 17–25.

THE ACTIVITY OF THE MIRROR SYSTEM OF THE BRAIN DURING THE PERCEPTION OF SPEECH AND ITS RELATIONSHIP WITH THE LEVEL OF INTELLIGENCE AND EMPATHY

Portugalskaia A. A., Levenchik G. Ja., Pavlenko V. B.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: a.portugalskaya@gmail.com*

Previously, researchers hypothesized that the emergence of a system of mirror neurons (MNS) in the process of evolution could be a key mechanism that ensured the appearance of speech in humans. The aim of this work was to establish a relationship between the activity of the MNS in the perception of speech messages, indicators of intelligence and empathy. 25 healthy men and women (18–35 years old) were test subjects. We found that when observing hand movements with a computer mouse on a monitor screen and performing such movements independently, the power of EEG mu- and tau rhythms in the central and temporal cortical regions decreased in subjects. Based on this, we consider it probable that a certain contribution to the dynamics of neocortex activity in this situation is made by the activation of neurons in the MNS.

Upon presentation of speech utterances to the research participants, the EEG amplitude changed, including in the range of the alpha rhythm. The most pronounced EEG changes developed 0.3–0.5 s after the end of the keywords. The processing of information during the perception of the phrase “I raise my hands and raise my head” in most of the subjects was reflected in the desynchronization of the indicated rhythm. The perception of the absurd phrase “I run around my hands and run around my head” was often accompanied by an increase in EEG oscillations in the range of the alpha rhythm. The perception of such a phrase, including the awareness of its contradiction to common sense, apparently caused stress in memory processes with an attempt to actively inhibit irrelevant information. These processes probably led to an increase in the amplitude of mu and tau rhythms in the central and temporal regions of the neocortex.

The subjects with the highest IQs showed the greatest activation of the mu-rhythm when perceiving the correct phrase. When an absurd phrase was perceived, the greatest desynchronization in the central regions of the neocortex developed in subjects with high indices of various dimensions of empathy. Probably people with a high level of empathy, i.e. with a good development of emotional intelligence, they more easily and quickly realized the absurdity of the specified phrase. We consider the obtained results as evidence of the participation of MNS in the perception and awareness of speech messages describing a person's physical actions.

Keywords: mirror neurons, electroencephalogram, speech, intelligence, empathy.

References

1. Lebedeva N. N., Zuhpman A. I., Maltsev V. Yu. Mirror Neuron System as a Key to Learning, Personality Formation and Understanding of Another's Mind, *Uspehi fiziologicheskikh nauk*, **48**, 16 (2017).
2. Pulvermüller F. Neural reuse of action perception circuits for language, concepts and communication. *Prog Neurobiol*, **160**, 1 (2018).
3. Arbib M. A. From monkey-like action recognition to human language: An evolutionary framework for neurolinguistics. *Behavioral and Brain Sciences*, **28**, 105 (2015).
4. Nacharova M. A., Mikhailova A. A., Govorun Ya. Yu., Portugalskaia A. A., Pavlenko V. B. Neurophysiological mechanisms of speech perception and their peculiarities in healthy children and children with developmental disorders, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **6**, 146 (2020).
5. Lam N. H., Schoffelen J., Uddén J., Hultén A., Hagoort P. Neural activity during sentence processing as reflected in theta, alpha, beta, and gamma oscillations, *NeuroImage*. **142**, 43 (2016).
6. Mai G., Minett J. W., Wang W. S. Delta, theta, beta, and gamma brain oscillations index levels of auditory sentence processing. *NeuroImage*, **133**, 516 (2016).
7. Makhin S. A., Makaricheva A. A., Lutsuk N. V., and Pavlenko V. B. Study of the reactivity of the μ rhythm during observation, auditory perception, and movement imitation: Correlation with empathic ability, *Human Physiology*, **41**, 593 (2015).
8. Brodsky I. *Collected works: [in 4 volumes]*, (Samizdat, 1972).
9. Filipovsky Yu. K., Aghajanyan A. R. Comparative analysis of time-frequency methods of signal processing, *Proceedings of the Odessa Polytechnic University*, **1(33)-2(34)**, 175 (2009).
10. Filimonenko Y., Timofeev V. *Guide to the method of research of intelligence for adults D. Veksler (WAIS)*, 93 p. (SPb.: SE "IMATON", 1995)
11. *World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects*, *JAMA*, **310**, 2191 (2013).
12. Bazanova O.M., Vernon D. Interpreting EEG alpha activity, *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **44**, 94 (2014).
13. Alikina M. A., Makhin S. A., Pavlenko V. B. EEG sensorimotor rhythm: amplitude, frequency, topography, age-dependency and functional meaning. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **2**, 3 (2016).
14. Saltuklaroglu T., Bowers A., Harkrider A.W., Casenhiser D., Reilly K. J., Jenson D. E., Thornton D. EEG μ rhythms: rich sources of sensorimotor information in speech processing, *Brain Lang*, **187**, 41 (2018).
15. Moreno I., De Vega M., León I., Bastiaansen MCM., Glen Lewis A., & Magyari L. Brain dynamics in the comprehension of action-related language: a time frequency analysis of μ rhythms, *NeuroImage*, **109**, 50 (2015).
16. Bidet-Ildes C., Beauprez S.-A., Badets A. A review of literature on the link between action observation and action language: advancing a shared semantic theory, *New Ideas in Psychology*, **58**, 100777 (2020). DOI: 10.1016/j.newideapsych.2019.100777.
17. Jenson D., Thornton D., Harkrider A. W., Saltuklaroglu T. Influences of Cognitive Load on Sensorimotor Contributions to Working Memory: An EEG investigation of μ rhythm activity during speech discrimination, *Neurobiology of Learning and Memory*. **166** (2019). DOI:10.1016/j.nlm.2019.107098.
18. Meyer L., Obleser J., Friederici A. D. Left parietal alpha enhancement during working memory-intensive sentence processing, *Cortex*, **49**, 711 (2013).
19. Schneider J. M., Abel A. D., Ogiela D. A., McCord C., Maguire M. J. Developmental differences in the neural oscillations underlying auditory sentence processing in children and adults, *Brain Lang*, **186**, 17 (2018).