

УДК 612.08

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-207-218

АКТИВНОСТЬ ЗЕРКАЛЬНЫХ НЕЙРОНОВ У МОНОЛИНГВОВ И БИЛИНГВОВ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ И ПРОИЗНЕСЕНИИ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО И НЕЭМОЦИОНАЛЬНОГО СЛОВ НА РОДНОМ И НЕРОДНОМ ЯЗЫКАХ

Скрябина А. А., Светлик М. В., Бушов Ю. В.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,
Томск, Россия
E-mail: skryabina.anastasiya1994@yandex.ru*

У мужчин и женщин (монолингвов и билингвов) исследовали активность зеркальных нейронов при наблюдении и произнесении эмоционального и неэмоционального слов на родном (русском) и неродном (английском) языках. При подготовке и выполнении речевых действий на родном и неродном языках обнаружены разнонаправленные изменения спектральной мощности мю-ритма на разных частотах. Предполагается, что «коммуникативные» зеркальные нейроны представляют собой неоднородную группу нейронов. Показано, что у монолингвов и билингвов при наблюдении и произнесении слов депрессия мю-ритма отмечается не только при выполнении речевого действия, но также на этапе его подготовки. Установлено, что билингвы (мужчины и женщины) отличаются от монолингвов (мужчин и женщин) более выраженной активацией «коммуникативных» зеркальных нейронов при наблюдении и произнесении эмоционального и неэмоционального слов на родном (русском) и неродном (английском) языках. Предполагается, что освоение второго языка сопровождается у билингвов ростом числа «коммуникативных» зеркальных нейронов за счет нейрогенеза.

Ключевые слова: зеркальные нейроны, спектральные характеристики ЭЭГ, мю-ритм, билингвизм, наблюдение и произнесение слов.

ВВЕДЕНИЕ

Знание иностранного языка (языков) зачастую является необходимым условием успешной карьеры современного человека в бизнесе, науке, образовании и других сферах деятельности. В то же время влияние многоязычия на психику человека изучено недостаточно. Считается, что важную роль в возникновении речи и языка в эволюции человека сыграли «коммуникативные» зеркальные нейроны [1]. Однако до сих пор неясно, какие изменения происходят в речевых структурах мозга и, в частности, в системе зеркальных нейронов при освоении второго языка.

Целью настоящего исследования явилось изучение активности зеркальных нейронов у монолингвов и билингвов при наблюдении и произнесении эмоционального и неэмоционального слов на родном (русском) и неродном (английском) языках.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для достижения поставленной цели исследовали спектральные характеристики мю-ритма ЭЭГ при наблюдении и произнесении эмоционального и неэмоционального слов на родном и неродном языках. В качестве маркера активации зеркальных нейронов использовалась депрессия мю-ритма в центральных отведениях ЭЭГ. В исследованиях приняли участие добровольцы – практически здоровые юноши и девушки (55 человек: среди них 10 монолингвов-юношей; 17 монолингвов-девушек; 9 билингвов-юношей; 19 билингвов-девушек) в возрасте от 18 до 29 лет – учащиеся Томского государственного университета.

Для отнесения добровольцев к одной из групп – монолингвы или билингвы – участники исследования проходили предварительное тестирование на определение уровня владения английским языком, разработанное британской языковой школой (<https://www.europa-school.co.uk/language-level-test/>).

Для подтверждения высокого уровня владения английским языком участники, отнесённые по результатам предварительного тестирования к группе билингвов, проходили тест «English Placement Test C1/C2», разработанный Экономическим университетом в Катовице (Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach) и направленный на установление владения английским языком на профессиональном уровне (https://www.ue.katowice.pl/fileadmin/_migrated/content_uploads/Placement_test_C1-C2_01.pdf).

К монолингвам относили участников, у которых уровень владения английским языком являлся элементарным A1 (elementary) или ниже среднего A2 (pre-intermediate), а к билингвам – тех, у кого уровень владения английским языком был выше среднего B2 (upper intermediate) или продвинутой C1 (advanced) по шкале CEFR (Common European Framework of Reference).

Для всех участников тип билингвизма являлся одинаковым: последовательный и искусственный. Все испытуемые дали информированное согласие на участие в данном исследовании, которое было одобрено Комиссией по биоэтике Биологического института Томского государственного университета.

В ходе предварительного обследования осуществлялся сбор анамнеза с целью исключения лиц, страдающих неврологическими (эпилепсия), сердечно-сосудистыми и другими заболеваниями. С помощью анкеты Аннет выявляли ведущую руку. По результатам анкетирования подсчитывали в баллах показатель мануального предпочтения (ПМП).

В сериях с наблюдением за произнесением слов испытуемый наблюдал за оператором, который беззвучно одними губами произносил слово, когда стрелка секундомера на экране монитора пересекала деления 0, 5, 10 и т. д. секунд. Всего стрелка секундомера совершала 5 оборотов. В сериях с произнесением слов испытуемый сам выполнял указанную деятельность. Серии чередовались следующим образом: наблюдение за произнесением слова «Раз» («Наблюдение Раз»), произнесение слова «Раз» («Произнесение Раз»), наблюдение за произнесением слова «Боль» («Наблюдение Боль»), произнесение слова «Боль» («Произнесение Боль»), наблюдение за произнесением слова «One» («Наблюдение One»), произнесение слова «One» («Произнесение One»), наблюдение за

произнесением слова «Pain» («Наблюдение Pain»), произнесение слова «Pain» («Произнесение Pain»).

В ходе эксперимента оператор располагался за столом, на котором на расстоянии 40–50 см от него находился монитор компьютера. Испытуемый при этом находился спереди и справа на расстоянии 70–80 см от него и следил только за его губами. При произнесении слов испытуемый занимал место оператора и следил за движением стрелки секундомера на экране монитора. Перед выполнением деятельности и в процессе ее выполнения регистрировали ЭЭГ монополярно с помощью 24-канального энцефалографа-анализатора «Энцефалан-131-03» (фирма «Медиком», г. Таганрог, Россия) в лобных (F3, F4, Fz, F7, F8), центральных (C3, C4, Cz), височных (T3, T4, T5, T6), теменных (P3, P4, Pz) и затылочных (O1, O2) отведениях по системе «10–20 %». В качестве референтов использовали отведения A1 и A2. С целью исключения артефактов, связанных с движением глаз и мышечной активностью, регистрировали ЭОГ и ЭМГ мышц шеи и лба. При вводе аналоговых сигналов в ЭВМ частота дискретизации составляла 250 Гц. При обработке полученных данных подсчитывали оценки спектральной мощности мю-ритма на коротких отрезках записи ЭЭГ (1,5 с), лишенных артефактов: за 1,5 с (этап подготовки) до пересечения стрелкой секундомера соответствующего деления, сразу после указанного события (этап выполнения действия) и через 1,5 с после пересечения стрелкой деления (этап фон). Полученные значения спектральной мощности усредняли отдельно для каждого этапа деятельности, для каждой серии и по всем испытуемым. Для описания спектра мощности ЭЭГ применяли преобразование Фурье. Расчет спектра выполнен с аппроксимацией на целые гармоники (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 Гц), что позволило существенно упростить последующую статистическую обработку и сравнительный анализ результатов. При статистической обработке данных использовали пакет «MatLab v6.5» и критерий Вилкоксона для связанных выборок.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты изучения мануального предпочтения показали, что в группах монолингвов и билингвов преобладают праворукие участники. Так, в группе монолингвов-юношей ($n = 10$) 9 человек оказались праворукими и 1 человек – амбидекстром, тогда как в группе монолингвов-девушек ($n = 17$) 14 оказались праворукими, 1 человек отличался выраженной леворукостью, 1 – слабой леворукостью и 1 человек оказался амбидекстром. Аналогичные результаты (преобладание праворуких участников) наблюдались и в группе билингвов. Так, в группе билингвов-юношей ($n = 9$) 8 человек оказались праворукими и 1 человек – амбидекстром, а в группе билингвов-девушек ($n = 19$) 16 человек оказались праворукими, 1 человек отличался выраженной леворукостью и 2 человека слабой леворукостью.

Изучение спектральных характеристик мю-ритма у мужчин (билингвов и монолингвов) при наблюдении и произнесении неэмоционального слова на родном и неродном языках позволило обнаружить у мужчин-билингвов более выраженную,

чем у мужчин-монолингвов, депрессию мю-ритма (табл. 1). Наиболее ярко это проявилось на этапе выполнения речевого действия.

Так, если у мужчин-билингвов при наблюдении за произнесением слова «РАЗ» отмечается статистически значимое по сравнению с фоном снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении С3 на частоте 8 Гц на 2,1 %, а на частоте 10 Гц повышение на 5,4 %, то у мужчин-монолингвов отмечается только повышение спектральной мощности мю-ритма в том же отведении на частоте 10 Гц на 5,6 %. Кроме этого, если при наблюдении за произнесением слова «РАЗ» у мужчин-билингвов отмечается снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении Сз на частоте 8 Гц на 22,7 %, на частоте 9 Гц на 45,5 %, на частоте 10 Гц на 15,5 %, то у мужчин-монолингвов в данном отведении статистически значимое изменение спектральной мощности отсутствует.

Если при произнесении слова «РАЗ» у мужчин-билингвов отмечается снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении Сз на частоте 13 Гц на 10,5 %, то у мужчин-монолингвов отмечается только повышение спектральной мощности мю-ритма в отведении С4 на частоте 11 Гц на 32,7 %.

Если у мужчин-билингвов при наблюдении за произнесением слова «ONE» статистически значимые изменения по сравнению с фоном спектральной мощности мю-ритма отсутствуют, то у мужчин-монолингвов отмечается повышение спектральной мощности мю-ритма в отведении С3 на частоте 10 Гц на 5 %.

Если у мужчин-билингвов при произнесении слова «ONE» отмечается статистически значимое по сравнению с фоном снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении Сз на частоте 13 Гц на 13,2 %, то у мужчин-монолингвов отмечается повышение спектральной мощности мю-ритма в том же отведении на той же частоте на 11,2 %.

Изменение спектральной мощности мю-ритма у мужчин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении неэмоционального слова на родном (русском) и неродном (английском) языках на этапе выполнения речевого действия по сравнению с фоном представлены в таблице 1.

Изучение спектральных характеристик мю-ритма у женщин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении неэмоционального слова на родном и неродном языках на этапе выполнения речевого действия по сравнению с фоном позволило обнаружить ту же закономерность: более выраженную депрессию мю-ритма у женщин-билингвов по сравнению с монолингвами (табл. 2).

Так, если у женщин-билингвов при наблюдении за произнесением слова «РАЗ» отмечается статистически значимое по сравнению с фоном снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении С3 на частоте 8 Гц на 17,1 %, на частоте 9 Гц на 23,7 %, на частоте 14 Гц на 11,2 %, а в отведении С4 на частоте 9 Гц на 10,2 %, то у женщин-монолингвов отмечается снижение спектральной мощности мю-ритма только в отведении С3 и только на частоте 13 Гц на 12 %.

Если у женщин-билингвов при произнесении слова «РАЗ» отмечается снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении С3 на частоте 8 Гц на 23,2 % и повышение спектральной мощности этого ритма в том же отведении на частоте 12 Гц на 18,7 %, а на частоте 13 Гц – на 29,3 %, то у женщин-монолингвов

отмечается только повышение спектральной мощности мю-ритма в отведении С3 на частоте 8 Гц на 8,9 %, в отведении Cz на частоте 9 Гц на 13,7 %, а в отведении С4 на частоте 8 Гц на 13,6 %, на частоте 9 Гц на 20,4% (табл. 2).

Таблица 1

Изменение спектральной мощности мю-ритма у мужчин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении незмоционального слова на родном (русском) и неродном (английском) языках на этапе выполнения речевого действия по сравнению с фоном

Серия	Отведение	Частота, Гц	Монолингвы-мужчины		Билингвы-мужчины	
			Изменение спектральной мощности, %			
			↑	↓	↑	↓
Наблюдение за произнесением слова «РАЗ»	С3	8	–	–	–	2,1
		10	5,6	–	5,4	–
	Cz	8	–	–	–	22,7
		9	–	–	–	45,5
		10	–	–	–	15,5
Произнесение слова «РАЗ»	Cz	13	–	–	–	10,5
	С4	11	32,7	–	–	–
Наблюдение за произнесением слова «ONE»	С3	10	5	–	–	–
Произнесение слова «ONE»	Cz	10	–	–	–	–
		13	11,2	–	–	13,2

Примечания:

В таблице приведены только статистически значимые изменения спектральной мощности мю-ритма при $p < 0,05$.

↑ – увеличение спектральной мощности; ↓ – снижение спектральной мощности.

Если у женщин-билингвов при наблюдении за произнесением слова «ONE» отмечается статистически значимое по сравнению с фоном снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении С3 на частоте 9 Гц на 17,9 %, а на частоте 12 Гц повышение на 11,4 %, в отведении Cz на частоте 9 Гц снижение на 14,6 %, а в отведении С4 – снижение на 24,5 %, то у женщин-монолингвов отмечается снижение спектральной мощности мю-ритма только в отведении Cz на частотах 9 и 10 Гц на 0,4 и 22,4 %, соответственно.

Однако при произнесении слова «ONE» у женщин-билингвов отмечается статистически значимое по сравнению с фоном повышение спектральной мощности мю-ритма в отведении С4 на частоте 12 Гц на 6,4 %, в то время как у женщин-монолингвов изменения спектральной мощности мю-ритма в центральных отведениях ЭЭГ отсутствуют (табл. 2).

Изменение спектральной мощности мю-ритма у женщин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении неэмоционального слова на родном (русском) и неродном (английском) языках на этапе выполнения речевого действия по сравнению с фоном представлены в таблице 2.

Таблица 2

Изменение спектральной мощности мю-ритма у женщин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении неэмоционального слова на родном (русском) и неродном (английском) языках на этапе выполнения речевого действия по сравнению с фоном

Серия	Отведение	Частота, Гц	Монолингвы-женщины		Билингвы-женщины	
			Изменение спектральной мощности, %			
			↑	↓	↑	↓
Наблюдение за произнесением слова «РАЗ»	С3	8	–	–	–	17,1
		9	–	–	–	23,7
		13	–	12	–	
		14	–	–	–	11,2
	С4	9	–	–	–	10,2
Произнесение слова «РАЗ»	С3	8	8,9	–	–	23,2
		12	–	–	18,7	–
		13	–	–	29,3	–
	Сz	9	13,7	–	–	–
	С4	8	13,6	–	–	–
9		20,4	–	–	–	
Наблюдение за произнесением слова «ONE»	С3	9	–	–	–	17,9
		12	–	–	11,4	–
	Сz	9	–	0,4	–	14,6
		10	–	22,4	–	–
	С4	9	–	–	–	24,5
Произнесение слова «ONE»	С4	12	–	–	6,4	–

Примечания:

В таблице приведены только статистически значимые изменения спектральной мощности мю-ритма при $p < 0,05$.

↑ – увеличение спектральной мощности; ↓ – снижение спектральной мощности.

Более выраженное снижение спектральной мощности мю-ритма у билингвов (мужчин и женщин) по сравнению с монолингвами (мужчинами и женщинами) обнаружено также при наблюдении и произнесении эмоционального слова на родном и неродном языках. Наиболее ярко эти различия проявились на этапе подготовки к речевому действию.

Так, если у мужчин-билингвов при наблюдении за произнесением слова «PAIN» отмечается статистически значимое по сравнению с фоном снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении Cz на частоте 11 Гц на 6,2 %, при произнесении того же слова – в отведении C3 на частотах 8 и 11 Гц на 13,1 и 32,6 %, соответственно, а в отведении C4 на частоте 14 Гц – на 27,8 %, то у мужчин-монолингвов снижение спектральной мощности мю-ритма наблюдается только при произнесении слова «PAIN» и только в отведении Cz на частоте 13 Гц на 27 % (табл. 3).

Изменение спектральной мощности мю-ритма у мужчин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении эмоционального слова на родном (русском) и неродном (английском) языках на этапе подготовки к речевому действию по сравнению с фоном представлены в таблице 3.

Таблица 3

Изменение спектральной мощности мю-ритма у мужчин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении эмоционального слова на родном (русском) и неродном (английском) языках на этапе подготовки к речевому действию по сравнению с фоном

Серия	Отведение	Частота, Гц	Монолингвы-мужчины		Билингвы-мужчины	
			Изменение спектральной мощности, %			
			↑	↓	↑	↓
Наблюдение за произнесением слова «БОЛЬ»	Cz	9	–	5,0	–	–
	C4	10	–	–	36,1	–
Произнесение слова «БОЛЬ»	C4	13	–	5,1	–	–
Наблюдение за произнесением слова «PAIN»	Cz	11	–	–	–	6,2
Произнесение слова «PAIN»	C3	8	–	–	–	13,1
		11	–	–	–	32,6
	Cz	13	–	27	–	–
	C4	14	–	–	–	27,8

Примечания:

В таблице приведены только статистически значимые изменения спектральной мощности мю-ритма при $p < 0,05$.

↑ – увеличение спектральной мощности; ↓ – снижение спектральной мощности.

Если у женщин-билингвов при наблюдении за произнесением слова «БОЛЬ» отмечается статистически значимое по сравнению с фоном снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении Cz на частоте 13 Гц на 9,9 %, в отведении C4 на частоте 8 Гц на 19,1 %, а при произнесении слова «БОЛЬ» отмечается снижение

спектральной мощности мю-ритма в отведении С3 на частотах 9, 10 и 14 Гц, соответственно на 5,3 %, 19,7 % и 26,3 %, и в отведении Сz на частоте 9 Гц – на 9,6 %, а также повышение в отведении С3 на частоте 12 Гц на 38,2 % и в отведении С4 на частоте 12 Гц – на 0,003 %, то у женщин-монолингвов статистически значимые по сравнению с фоном изменения спектральной мощности мю-ритма при наблюдении и произнесении слова «БОЛЬ» отсутствуют.

При наблюдении за произнесением слова «RAIN» статистически значимые по сравнению с фоном изменения спектральной мощности мю-ритма у женщин (билингвов и монолингвов) не выявлены.

Если при произнесении слова «RAIN» у женщин-билингвов отмечается статистически значимое по сравнению с фоном снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении С3 на частотах 9 и 14 Гц на 33,4 % и 15,3 %, соответственно и повышение на частоте 12 Гц на 6,8 %, то у женщин-монолингвов отмечается статистически значимое по сравнению с фоном повышение спектральной мощности мю-ритма в отведении Сz на частоте 13 Гц на 13,5 %, а в отведении С4 – на частоте 11 Гц на 12,9 %. Снижение спектральной мощности на 3,3 % отмечается у них только в отведении Сz на частоте 8 Гц (табл. 4).

Изменение спектральной мощности мю-ритма у женщин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении эмоционального слова на родном (русском) и неродном (английском) языках на этапе подготовки к речевому действию по сравнению с фоном представлены в таблице 4.

Таким образом, проведенные исследования показали, что наблюдение и произнесение эмоционального и неэмоционального слов у мужчин (монолингвов и билингвов) и женщин (монолингвов и билингвов) сопровождается разнонаправленными изменениями спектральной мощности мю-ритма на разных частотах.

Вероятно, это свидетельствует о том, что зеркальные нейроны и, в частности, «коммуникативные», представляют собой неоднородную группу нейронов. На это указывают и некоторые литературные данные. В частности, некоторые исследователи [2] выделяют в мю-ритме два поддиапазона (8–10 и 10–12 Гц), которые, по их мнению, функционально различаются. По данным этих авторов низкочастотная составляющая мю-ритма (8–10 Гц) проявляет «неспецифическую» десинхронизацию, регистрируемую при разных движениях, в то время как высокочастотная составляющая (10–12 Гц) проявляет «специфическую» десинхронизацию, которая отчетливо различается при движениях пальцев руки и ступни.

Согласно имеющимся данным, снижение спектральной мощности мю-ритма является характерным индикатором активации зеркальных нейронов [3–6]. Поэтому обнаруженное у билингвов (мужчин и женщин) более выраженное по сравнению с монолингвами (мужчинами и женщинами) снижение спектральной мощности мю-ритма при наблюдении и произнесении эмоционального и неэмоционального слов на родном и неродном языках указывает на более значительную активацию «коммуникативных» зеркальных нейронов у билингвов по сравнению с монолингвами. Это проявляется в том, что снижение спектральной мощности этого

ритма наблюдается у билингвов (мужчин и женщин) на разных частотах и в разных отведениях ЭЭГ, тогда как у монолингвов (мужчин и женщин) снижение спектральной мощности мю-ритма либо незначительное, либо оно отсутствует.

Таблица 4

Изменение спектральной мощности мю-ритма у женщин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении эмоционального слова на родном (русском) и неродном (английском) языках на этапе подготовки к речевому действию по сравнению с фоном

Серия	Отведение	Частота, Гц	Монолингвы-женщины		Билингвы-женщины	
			Изменение спектральной мощности, %			
			↑	↓	↑	↓
Наблюдение за произнесением слова «БОЛЬ»	Cz	13	–	–	–	9,9
	C4	8	–	–	–	19,1
Произнесение слова «БОЛЬ»	C3	9	–	–	–	5,3
		10	–	–	–	19,7
		12	–	–	38,2	–
		14	–	–	–	26,3
	Cz	9	–	–	–	9,6
	C4	12	–	–	0,003	–
Произнесение слова «PAIN»	C3	9	–	–	–	33,4
		12	–	–	6,8	–
		14	–	–	–	15,3
	Cz	8	–	3,3	–	–
		13	13,5	–	–	–
	C4	11	12,9	–	–	–

Примечания:

В таблице приведены только статистически значимые изменения спектральной мощности мю-ритма при $p < 0,05$.

↑ – увеличение спектральной мощности; ↓ – снижение спектральной мощности.

Вероятно, это связано с тем, что освоение второго языка сопровождается ростом числа «коммуникативных» зеркальных нейронов в соответствующих зонах коры за счет нейрогенеза. В пользу этого предположения свидетельствуют и некоторые литературные данные. В частности, установлено [7], что через три месяца интенсивных занятий у курсантов (будущих военных переводчиков) достоверно увеличилась толщина коры в нижней лобной извилине, верхней лобной извилине, верхней височной извилине и средней лобной извилине левого полушария. К тому же, увеличился объем гиппокампа, причем, сильнее всего у тех

курсантов, которые достигли наибольших результатов в освоении иностранного языка.

Проведённые исследования также показали, что наблюдение за произнесением слов и произнесение слов сопровождается у монолингвов и билингвов (мужчин и женщин) депрессией мю-ритма не только при выполнении речевого действия, но и на этапе его подготовки.

Эти данные свидетельствуют о том, что у монолингвов и билингвов «коммуникативные» зеркальные нейроны активируются не только при выполнении речевого действия, но также на этапе его подготовки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведённые исследования показали, что наблюдение за произнесением и произнесение эмоционального и неэмоционального слов у мужчин (монолингвов и билингвов) и женщин (монолингвов и билингвов) сопровождается разнонаправленными изменениями спектральной мощности мю-ритма на разных частотах.

Вероятно, это свидетельствует о том, что «коммуникативные» зеркальные нейроны представляют собой неоднородную группу нейронов.

Установлено, что у монолингвов и билингвов (мужчин и женщин) депрессия мю-ритма, свидетельствующая об активации «коммуникативных» зеркальных нейронов, отмечается не только при выполнении речевого действия, но также на этапе его подготовки. Оказалось, что наблюдение за произнесением и произнесение эмоционального и неэмоционального слов на родном (русском) и неродном (английском) языках сопровождается у билингвов (мужчин и женщин) более выраженной по сравнению с монолингвами (мужчинами и женщинами) активацией «коммуникативных» зеркальных нейронов.

Последнее проявляется в том, что снижение спектральной мощности мю-ритма наблюдается у билингвов на разных частотах и в разных отведениях ЭЭГ, тогда как у монолингвов снижение спектральной мощности мю-ритма либо незначительное, либо оно отсутствует.

Предполагается, что обнаруженные межгрупповые различия активации зеркальных нейронов обусловлены тем, что освоение второго языка сопровождается у билингвов ростом числа «коммуникативных» зеркальных нейронов в соответствующих зонах коры за счет нейрогенеза.

Список литературы

1. Rizzolatti J. Mirrors in the brain: On the mechanisms of joint action and empathy / J. Rizzolatti, K. Sinigaglia. – М. : Languages of Slavic cultures, 2012. – 208 p.
2. Pfurtscheller G. Functional dissociation of lower and upper frequency mu rhythms in relation to voluntary limb movement / G. Pfurtscheller, C. Neuper, G. Krausz // Clin. Neurophysiol. – 2000. – Vol. 111 – P. 1873–1876.
3. Rizzolatti G. The mirror-neuron system / G. Rizzolatti, L. Craighero // Annual Review of Neuroscience Volume. – 2004. – № 27. – P. 169–192.
4. 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 и химия. – 2016. – Т. 2, № 2. – С. 3–24.
5. Farina E. Mirror neurons and their relationship with neurodegenerative disorders / E. Farina, F. Borgnis, T. Pozzo // J. of Neurosci. Research. – 2020. – Vol. 98, № 6. – P. 1070–1094.
 6. Emre H. Айна nöron sistemi ve fonksiyonlarına klinik yaklaşım / H. Emre, C. Canberk, K. Ferhat, Y. Ertan // Journal of Istanbul Faculty of Medicine. – 2021. – Т. 84, № 3. – P. 430–438.
 7. Mårtensson J. Growth of language-related brain areas after foreign language learning / J. Mårtensson, J. Eriksson, N. C. Bodammer, M. Lindgren, M. Johansson, L. Nyberg, M. Lövdén // Neuroimage. – 2012. – Vol. 63, № 1. – P. 240–244. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.06.043

ACTIVITY OF MIRROR NEURONS IN MONOOLINGUAL AND BILINGUAL PEOPLE WHEN OBSERVING AND PRONUNCING EMOTIONAL AND NONEMOTIONAL WORDS IN THE NATIVE AND NATIVE LANGUAGES

Skryabina A. A., Svetlik M. V., Bushov Yu. V.

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Tomsk State University", Tomsk, Russia
E-mail: skryabina.anastasiya1994@yandex.ru*

Introduction. Studying the influence of multilingualism on the human psyche is an urgent problem in physiology. It is believed that “communicative” mirror neurons played an important role in the emergence of speech and language in humans. However, it is still unclear what changes occur in the speech structures of the brain and, in particular, in the mirror neuron system during the acquisition of a second language. The purpose of this study was to study the activity of mirror neurons in monolinguals and bilinguals when observing and pronouncing emotional and non-emotional words in their native (Russian) and non-native (English) languages.

Methods. The study involved boys and girls: monolinguals with English proficiency level A1 (elementary) or A2 (pre-intermediate) on the CEFR (Common European Framework of Reference) scale and bilinguals with English proficiency level B2 (upper intermediate) or C1 (advanced)). Type of bilingualism: sequential and artificial. Participants in the experiment either silently uttered emotional (“БОЛЬ” or “PAIN”) and non-emotional words (“ПАЗ” or “ONE”) in their native (Russian) and non-native (English) languages with their lips alone, or watched an operator who pronounced those the same words. The words were pronounced by the operator or the subject at the moments when the stopwatch hand on the monitor screen passed through the divisions of 0, 5, 10, etc. seconds. At the same time, the stopwatch hand made 5 revolutions. Before performing the activity and during its implementation, the participants’ EEG was recorded monopolarly using a 24-channel encephalograph-analyzer “Encephalan-131-03” in the frontal (F3, F4, Fz, F7, F8), central (C3, C4, Cz), temporal (T3, T4, T5, T6), parietal (P3, P4, Pz) and occipital (O1, O2) leads according to the “10–20 %” system. Leads A1 and A2 were used as referents. When processing the data obtained, estimates of spectral power were calculated in short segments of the EEG recording (1.5 s), devoid of artifacts: 1.5 s (preparation stage) before the stopwatch hand crosses the corresponding division,

immediately after the specified event (action execution stage) and after 1.5 s after the arrow crosses the division (background stage). The obtained spectral power values were averaged separately for each stage of activity, for each series and for all subjects. For statistical data processing, the MatLab v6.5 package and the Wilcoxon test for related samples were used.

Results. When preparing and performing speech actions in their native and non-native languages, monolinguals and bilinguals showed multidirectional changes in the spectral power of the mu rhythm at different frequencies. It has been shown that in monolinguals and bilinguals, when observing and pronouncing words, depression of the mu rhythm is observed not only during the performance of a speech act, but also at the stage of its preparation. In bilinguals (men and women), a more pronounced decrease in the spectral power of the mu rhythm was found compared to monolinguals (men and women) when observing and pronouncing emotional and unemotional words in their native and non-native languages, which indicates a more significant activation of “communicative” mirror neurons in bilinguals. This is manifested in the fact that a decrease in the spectral power of this rhythm is observed in bilinguals at different frequencies and in different EEG leads, while in monolinguals the decrease in the spectral power of the mu rhythm is either insignificant or absent.

Conclusion. It is assumed that the more pronounced activation of “communicative” mirror neurons in bilinguals when observing and pronouncing words in their native (Russian) and non-native (English) languages is due to the fact that the acquisition of a non-native language is accompanied by an increase in the number of “communicative” mirror neurons in bilinguals in the corresponding zones of the cortex due to neurogenesis.

Keywords: mirror neurons, spectral characteristics of EEG, mu rhythm, bilingualism, observation and pronunciation of words.

References

1. Rizzolatti J. and Sinigaglia K., *Mirrors in the brain: On the mechanisms of joint action and empathy*, 208 p. (Languages of Slavic cultures, Moscow, 2012).
2. Pfurtscheller G., Neuper C. and Krausz G., Functional dissociation of lower and upper frequency mu rhythms in relation to voluntary limb movement, *Clin. Neurophysiol.*, **111** (10), 1873 (2000).
3. Rizzolatti G. and Craighero L. The mirror-neuron system, *Annual Review of Neuroscience*, **27**, 169 (2004).
4. Alikina M. A., Makhin S. A. and Pavlenko V. B., EEG sensorimotor rhythm: amplitude, frequency, topography, age-dependency and functional meaning, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology and chemistry*, **2** (2), 3 (2016).
5. Farina E., Borgnis F. and Pozzo T. Mirror neurons and their relationship with neurodegenerative disorders, *J. of Neurosci. Research*, **98** (6), 1070 (2020).
6. Emre H., Canberk C., Ferhat K. and Ertan Y. Ayna nöron sistemi ve fonksiyonlarına klinik yaklaşım, *Journal of Istanbul Faculty of Medicine*, **84** (3), 430 (2021).
7. Mårtensson J., Eriksson J., Bodammer N. C., Lindgren M., Johansson M., Nyberg L. and Lövdén M. Growth of language-related brain areas after foreign language learning, *Neuroimage*, **63** (1), 240 (2012). doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.06.043