

УДК 612.08

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МОЗГА У МОНОЛИНГВОВ И БИЛИНГВОВ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ И ПРОИЗНЕСЕНИИ СЛОВ НА РОДНОМ И НЕРОДНОМ ЯЗЫКАХ

Скрябина А. А., Мошкина М. В., Светлик М. В., Нагель О. В., Бушов Ю. В.

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

У юношей и девушек, монолингвов и билингвов, исследовали спектральные характеристики ЭЭГ и корковые взаимодействия на частоте мю-ритма между центральными и другими зонами коры при наблюдении и произнесении слов на родном – русском и неродном – английском языках. Установлено, что корковые взаимодействия на частоте мю-ритма между центральными и другими зонами коры при наблюдении и произнесении слов на родном и неродном языках существенно отличаются у монолингвов и билингвов и зависят от: вида и этапа выполняемой деятельности; пола и эмоциональной значимости слова; языка, на котором произносится это слово. Предполагается, что у билингвов и монолингвов деятельность, связанная с наблюдением и произнесением слов на родном и неродном языках, обеспечивается разными функциональными системами.

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

ВВЕДЕНИЕ

Изучение влияния многоязычия на когнитивные способности человека является актуальной междисциплинарной проблемой. Это связано с тем, что растущий уровень международной интеграции в сфере науки, образования и производства, значительные миграции населения настоятельно требуют от современного человека знания иностранных языков. Однако влияние многоязычия на психику человека изучено недостаточно. В частности, важная роль в формировании речи и языка отводится зеркальным нейронам [1]. Вместе с тем, данные о влиянии многоязычия на активность и локализацию зеркальных нейронов практически отсутствуют.

Характерным коррелятом активации зеркальных нейронов считается, так называемый, мю-ритм частотой 8–13 Гц, который регистрируется в центральных областях коры и не подавляется при зрительной и слуховой стимуляции [2]. Установлено, что депрессия этого ритма, как и активация зеркальных нейронов, наблюдается не только при выполнении человеком какого-либо действия, но также при наблюдении и мысленном воспроизведении этого действия [2, 3].

Изучение мю-ритма при подготовке [4] и выполнении [5, 6] речевых действий показало, что «коммуникативные» действия сопровождаются такими же изменениями его амплитуды, как и другие движения. Поэтому некоторые

исследователи считают [7], что мю-ритм можно использовать как показатель сенсомоторной интеграции речи, а измерения мю-ритма целесообразно проводить не только в альфа-, но и в бета-диапазонах частот [8, 9].

Проведенные нами исследования показали, что наблюдение за выполнением транзитивных и речевых действий сопровождается активацией не только тех зон коры, где расположены соответствующие «двигательные» или «коммуникативные» зеркальные нейроны, но также других зон коры и базальных ганглиев [10]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что сами по себе «двигательные» и «коммуникативные» зеркальные нейроны не обеспечивают понимание действий и намерений, хотя и участвуют в этих процессах. Предполагается, что эти нейроны обеспечивают взаимодействие между префронтальной корой, сенсорными и двигательными зонами коры, а также местами хранения в мозге двигательных программ (базальные ганглии и мозжечок). Результатом взаимодействия указанных структур, по-видимому, и является понимание действий и намерений других людей. Важную роль в формировании указанных взаимодействий может играть мю-ритм.

Целью настоящего исследования явилось изучение спектральных характеристик ЭЭГ и корковых взаимодействий на частоте мю-ритма у монолингвов и билингвов при наблюдении и произнесении слов на родном и неродном языках.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для достижения поставленной цели исследовали электрическую активность мозга (ЭЭГ) при наблюдении и произнесении эмоционального и неэмоционального слов на родном и неродном языках. 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, в том числе и студенты факультета иностранных языков.

Основным критерием выбора участников послужило: владение родным (русским) и неродным (английским) языками. Уровень владения английским языком у монолингвов являлся элементарным A1 (elementary) или ниже среднего A2 (pre-intermediate), тогда как уровень владения английским у билингвов – выше среднего B2 (upper intermediate) или продвинутый C1 (advanced) по шкале CEFR (Common European Framework of Reference).

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).

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. Также проводился сбор языкового анамнеза, на основе которого определялся тип двуязычия. 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 «Rain» («Наблюдение Rain»), произнесение слова «Rain» («Произнесение Rain»).

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. С целью изучения корковых связей на частоте мю-ритма ЭЭГ предварительно фильтровали. Для этого применяли полосовой фильтр Баттерворта 20-го порядка с коэффициентом подавления частот выше 15 Гц не менее 80 дБ и частот ниже 8 Гц не менее 40 дБ. При обработке полученных данных подсчитывали максимальные значения кросскорреляционных функций и оценки спектральной мощности на коротких отрезках записи ЭЭГ (1,5 с), лишенных артефактов: за 3 с (фон) и 1,5 с (этап подготовки) до пересечения стрелкой секундомера соответствующего деления и сразу после указанного события (этап выполнения действия). Полученные значения коэффициентов корреляции и оценки спектральной мощности усредняли отдельно для каждого этапа деятельности, для каждой серии и по всем испытуемым. При подсчете кросскорреляционных функций

опирались на существующие рекомендации [11] о том, что максимальный временной сдвиг должен быть не более одной десятой длины реализации, которая выбиралась больше или равной десяти периодам мю-ритма (1,5 с). Для описания спектра мощности ЭЭГ применяли преобразование Фурье. Расчет спектра выполнен с аппроксимацией на целые гармоники (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 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.

Проведенные исследования показали, что наблюдение за произнесением слов и произнесение слов сопровождаются статистически значимым ($p < 0.05$) по сравнению с фоном снижением спектральной мощности ЭЭГ в центральных областях коры на отдельных частотах мю-ритма. Наиболее ярко это проявилось при наблюдении за произнесением слова «Боль» (Рис. 1–4).

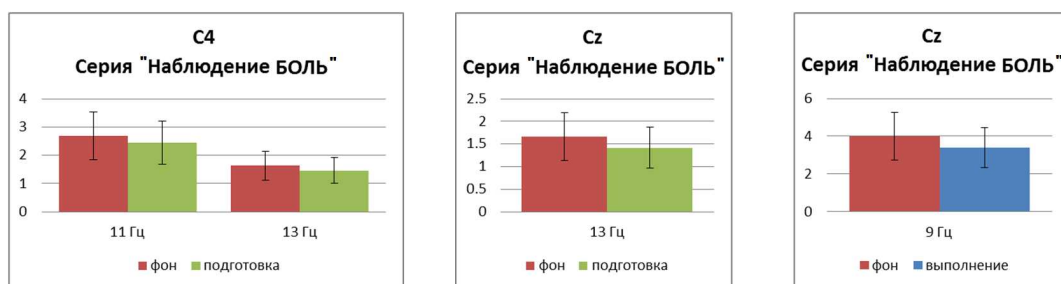


Рис. 1. Изменения спектральной мощности ЭЭГ в отведениях C4 и Cz на разных этапах выполняемой деятельности в серии «Наблюдение БОЛЬ» в группе монолингвов-юношей.

Примечания:

На оси ординат отложены значения спектральной мощности ЭЭГ в мкВ^2 ; на оси абсцисс указаны частоты, на которых наблюдались статистически значимые ($p < 0,05$) изменения спектральной мощности.

Фон, подготовка, выполнение – этапы выполняемой деятельности.

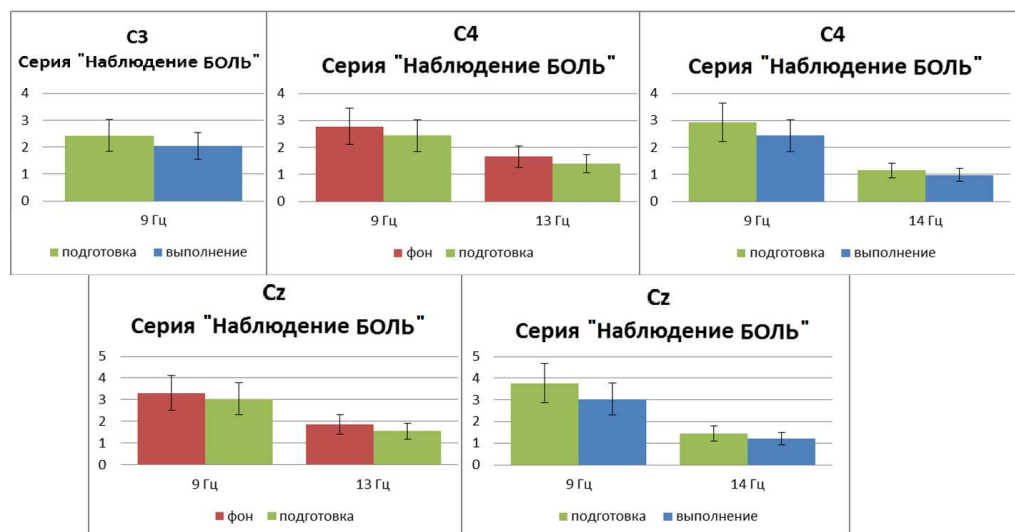


Рис. 2. Изменения спектральной мощности ЭЭГ в отведениях С3, Сz, С4 на разных этапах выполняемой деятельности в серии «Наблюдение БОЛЬ» в группе монолингвов-девушек.

Примечания:

На оси ординат отложены значения спектральной мощности ЭЭГ в мкВ²; на оси абсцисс указаны частоты, на которых наблюдались статистически значимые ($p < 0,05$) изменения спектральной мощности.

Фон, подготовка, выполнение – этапы выполняемой деятельности.

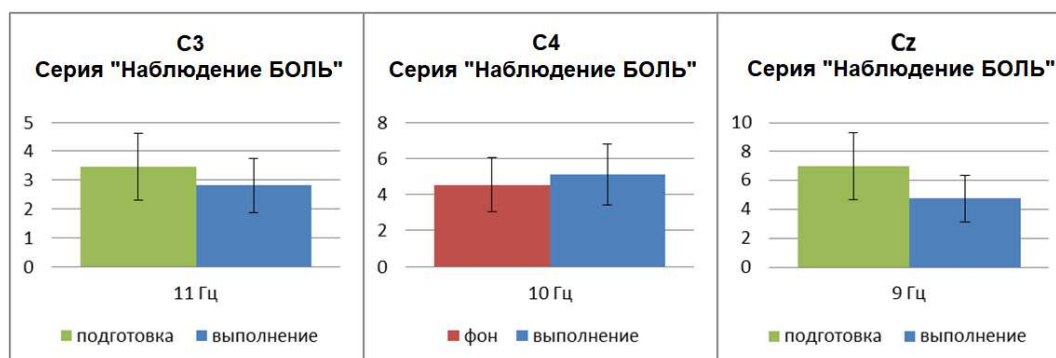


Рис. 3. Изменения спектральной мощности ЭЭГ в отведениях С3, Сz, С4 на разных этапах выполняемой деятельности в серии «Наблюдение БОЛЬ» в группе билингвов-юношей.

Примечания:

На оси ординат отложены значения спектральной мощности ЭЭГ в мкВ²; на оси абсцисс указаны частоты, на которых наблюдались статистически значимые ($p < 0,05$) изменения спектральной мощности.

Фон, подготовка, выполнение – этапы выполняемой деятельности.

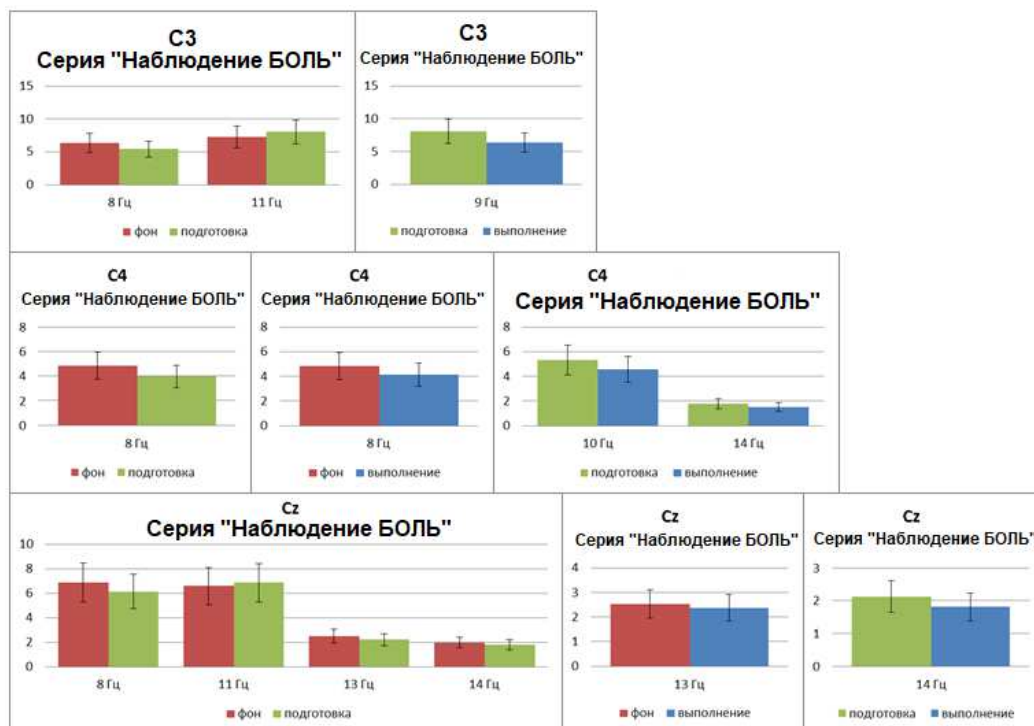


Рис. 4. Изменения спектральной мощности ЭЭГ в отведениях С3, Сz, С4 на разных этапах выполняемой деятельности в серии «Наблюдение БОЛЬ» в группе билингвов-девушек.

Примечания:

На оси ординат отложены значения спектральной мощности ЭЭГ в μV^2 ; на оси абсцисс указаны частоты, на которых наблюдались статистически значимые ($p < 0,05$) изменения спектральной мощности.

Фон, подготовка, выполнение – этапы выполняемой деятельности.

Обнаруженное в центральных областях коры снижение спектральной мощности на отдельных частотах мю-ритма при наблюдении и выполнении речевого действия, вероятно, отражает активацию зеркальных нейронов [2, 3].

Проведенные исследования позволили также обнаружить существенные различия между монолингвами и билингвами, юношами и девушками, в изменении корковых связей на частоте мю-ритма при наблюдении и произнесении слов. Так, если у монолингвов-юношей при наблюдении за произнесением слова «Раз» отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) ослабление корреляции между отведениями С4 и Т4 на 2,4 % на этапе подготовки по сравнению с фоном, то у билингвов-юношей при наблюдении за произнесением того же слова отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) усиление корреляции: между отведениями С3 и Сz на 3,1 %, С3 и С4 на 2,7 %, Сz и Р3 на 3,7 %, Сz и Рz на 3,7 %, Сz и О1 на 3,3 %, Т3 и С4 на 3,2 %, С4 и Р3 на 2,8 %, С4 и Рz на 3,4 %, С4 и Т6 на 3,9 %, С4 и О1 на 4,1% на этапе подготовки по сравнению с фоном; между отведениями С3 и Р4 на 2,4 %, между отведениями С3 и Р4 на 2,4 %, между отведениями С3 и Р4 на 2,4 %, между отведениями С3 и Р4 на 2,4 %.

C3 и O2 на 2,4 %, Cz и P3 на 1,7 %, Cz и Pz на 2,4 %, C4 и T6 на 2,9 % на этапе выполнения по сравнению с фоном; между отведениями T3 и C4 на 2,4 % на этапе выполнения по сравнению с подготовкой, а также ослабление корреляции между отведениями F8 и Cz на 1,5 % на этапе выполнения по сравнению с подготовкой.

В то же время при произнесении того же слова у монолингвов и билингвов-юношей отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) снижение уровней корковых связей на этапах подготовки и выполнения речевого действия по сравнению с фоном, а также на этапе выполнения по сравнению с подготовкой в отведении Cz (Рис. 5–6).

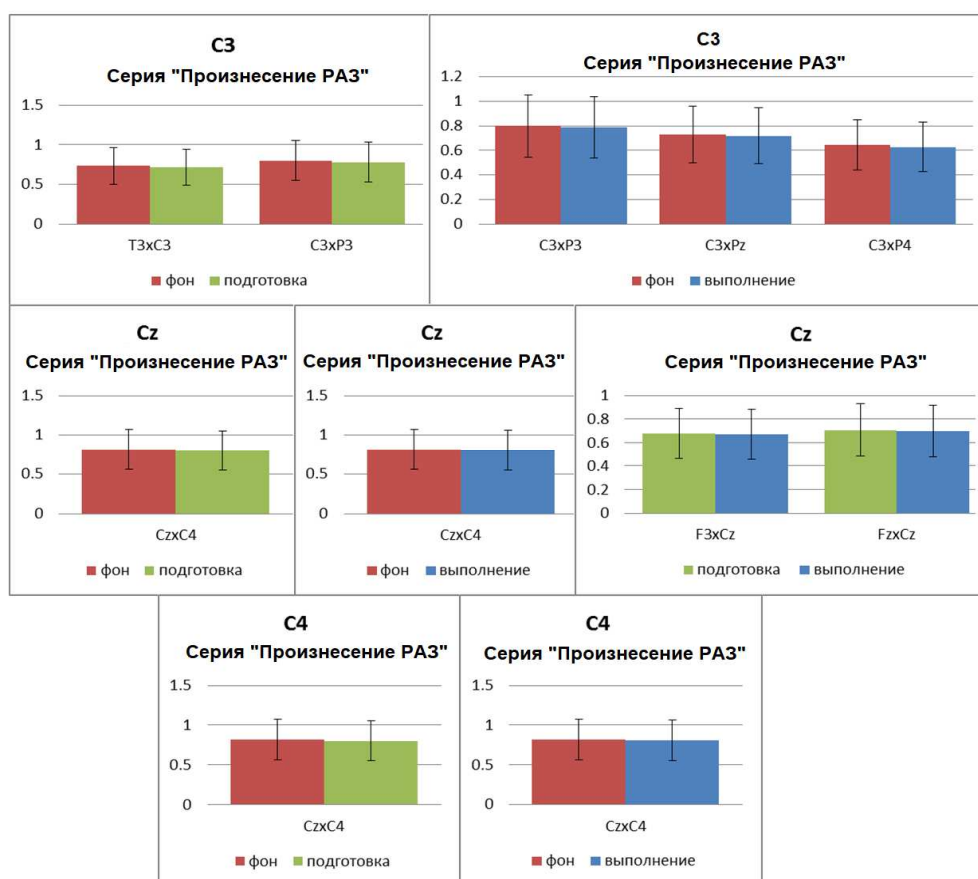


Рис. 5. Зависимость корковых связей на частоте мю-ритма между центральными и другими зонами коры от этапа выполняемой деятельности в серии «Произнесение РА3» в группе монолингвов-юношей.

Примечания:

На графике представлены только статистически значимые различия уровней корковых связей ($p < 0,05$).

На оси ординат отложены значения коэффициента корреляции в относительных единицах.

Фон, подготовка, выполнение – этапы выполняемой деятельности.

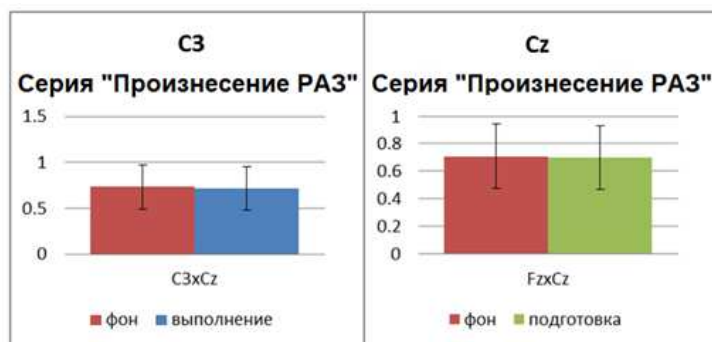


Рис. 6. Зависимость корковых связей на частоте мю-ритма между центральными и другими зонами коры от этапа выполняемой деятельности в серии «Произнесение РАЗ» в группе билингвов-юношей.

Примечания:

Обозначения те же, что и на рис. 5.

Поскольку усиление корковых связей часто обусловлено повышением сложности выполняемого задания [12], можно предположить, что обнаруженное у билингвов-юношей усиление корковых связей при наблюдении за беззвучным (одними губами) произнесением слова «Раз» обусловлено большей сложностью выполняемого задания. В частности, тем, что билингвы вынуждены вначале идентифицировать язык, на котором произносится слово, а затем идентифицировать само слово. При произнесении того же слова сложность задания для монолингвов и билингвов становится примерно одинаковой, что и проявляется в сходной динамике корковых связей. В определенной степени это подтверждают и литературные данные. В частности, в исследованиях с помощью метода фМРТ показано, что активность мозговых структур при продукции речи монолингвами оказалась сходной с их активностью при продукции речи мультилингвами на родном языке [13].

Изучение корковых взаимодействий у юношей при наблюдении за произнесением слова «Боль» позволило обнаружить и у монолингвов, и у билингвов усиление корковых связей между центральными и другими зонами коры.

Так, у монолингвов-юношей при наблюдении за произнесением слова «Боль» отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) усиление корреляции: между отведениями F3 и C3 на 1,7 %, F4 и Cz на 1,3 % на этапе подготовки по сравнению с фоном; между отведениями F4 и Cz на 1,7 %, Cz и C4 на 1,3 % на этапе выполнения по сравнению с фоном; между отведениями C3 и T5 на 3,2 %, C3 и P3 на 1,6 %, C3 и P4 на 1,8 %, C4 и T6 на 2,2 % на этапе выполнения по сравнению с подготовкой.

В свою очередь у билингвов-юношей при наблюдении за произнесением того же слова отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) усиление корреляции: между отведениями Fz и C3 на 1,6 %, C3 и C4 на 4,1 %, C3 и T5 на 2,7 %, C3 и T6 на 4,7 %, C3 и O1 на 4,4 %, C3 и O2 на 4,8 %, Cz и T6 на 6,6 %, T3 и C4 на 2,1 %, C4 и T6 на 4,9 %, C4 и O2 на 5,6 % на этапе подготовки по сравнению с фоном; между отведениями C3 и O2 на 3,3 %, Cz и C4 на 1,5 %, Cz и P4 на 2,6 %, Cz и T6 на 4,3 %, C4 и T6 на 4,9 %, C4 и O2 на 5,6 % на этапе подготовки по сравнению с фоном; между отведениями C3 и O2 на 3,3 %, Cz и C4 на 1,5 %, Cz и P4 на 2,6 %, Cz и T6 на 4,3 %, C4 и T6 на 4,9 %.

C4 и T6 на 3,8 % на этапе выполнения по сравнению с фоном; между отведениями C3 и T4 на 3,6 %, C3 и O1 на 2,6 %, C4 и P4 на 1,9 % на этапе выполнения по сравнению с подготовкой, а также ослабление корреляции между отведениями C4 и T4 на 1,9 % на этапе выполнения по сравнению с фоном.

Вероятно, это усиление связей обусловлено эмоциональной значимостью слова «Боль» и вовлечением в реакцию на это слово эмоциогенных структур. Поскольку слово «Боль» сопровождается негативными эмоциями, можно предположить, что реакция на это слово, по существу, является психологической защитой.

В то же время произнесение того же слова у юношей (билингвов и монолингвов) сопровождается в большинстве случаев статистически значимым ослаблением корковых связей между центральными и другими зонами коры (Рис. 7–8).

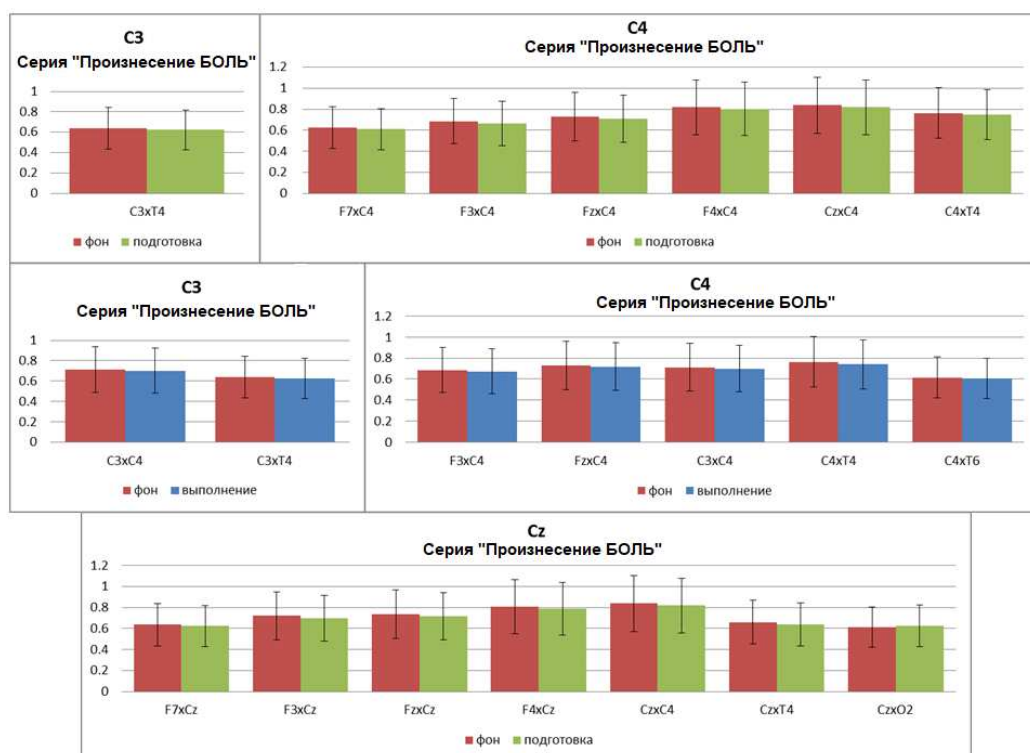


Рис. 7. Зависимость корковых взаимодействий на частоте мю-ритма между центральными и другими зонами коры от этапа выполняемой деятельности в серии «Произнесение БОЛЬ» в группе монолингвов-юношей.

Примечания:

На графике представлены только статистически значимые различия уровней корковых связей ($p < 0,05$).

На оси ординат отложены значения коэффициента корреляции в относительных единицах.

Фон, подготовка, выполнение – этапы выполняемой деятельности.

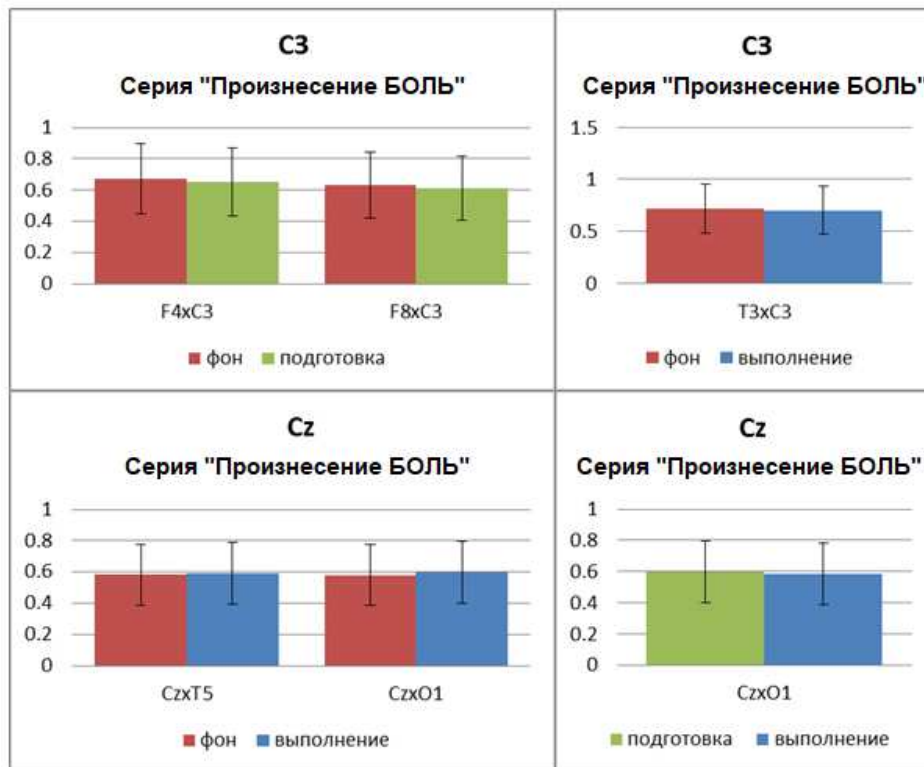


Рис. 8. Зависимость корковых взаимодействий на частоте мю-ритма между центральными и другими зонами коры от этапа выполняемой деятельности в серии «Произнесение БОЛЬ» в группе билингвов-юношей.

Примечания:

На графике представлены только статистически значимые различия уровней корковых связей ($p < 0,05$).

На оси ординат отложены значения коэффициента корреляции в относительных единицах.

Фон, подготовка, выполнение – этапы выполняемой деятельности.

Оказалось, что наблюдение за произнесением слова «One», как и слова «Раз», сопровождается у монолингвов-юношей преимущественно ослаблением корковых связей, а у билингвов-юношей – усилением корковых связей между центральными и другими зонами коры. Так у монолингвов-юношей при наблюдении за произнесением слова «One» отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) ослабление корреляции: между отведениями F8 и C3 на 2,2 %, T3 и C3 на 2 %, C3 и Cz на 2,2 %, C3 и T5 на 1,5 %, Fz и Cz на 1,3 %, C4 и T4 на 3,4 % на этапе подготовки по сравнению с фоном; между отведениями F4 и C3 на 2,1 %, T3 и C3 на 2,1 %, C3 и T4 на 2,6 %, Cz и T4 на 2,1 %, C4 и T4 на 3,6 %, C4 и T6 на 2,6 % на этапе выполнения по сравнению с фоном, а также усиление корреляции между

отведениями С3 и О1 на 2 % на этапе подготовки по сравнению с фоном. У билингов-юношей при наблюдении за произнесением того же слова отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) усиление корреляции: между отведениями С3 и Р3 на 2 %, С3 и Р4 на 2,9 %, Сz и Рz на 3,6 %, С4 и Рz на 3,9 % на этапе подготовки по сравнению с фоном; между отведениями С3 и Т4 на 1,4 %, С3 и Р4 на 1,8 %, С4 и Т4 на 2,3 % на этапе выполнения по сравнению с подготовкой.

Произнесение слова «One» у монолингвов-юношей сопровождается как усилением, так и ослаблением корковых связей между центральными и другими зонами коры, тогда как у билингов-юношей – только ослаблением (Рис. 9–10).

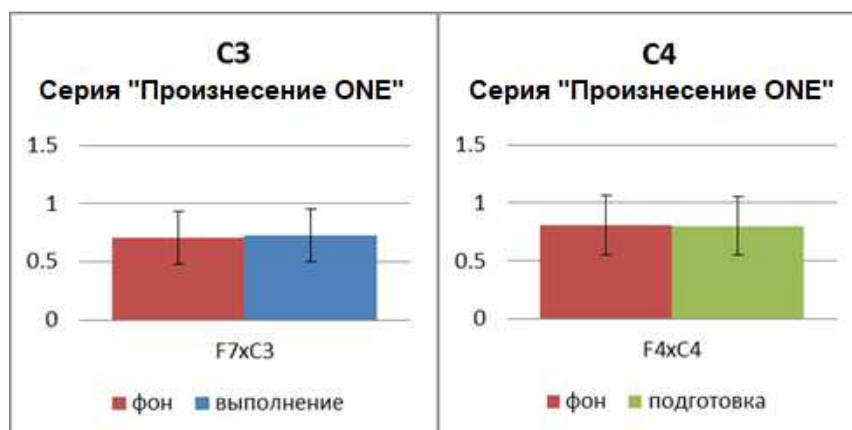


Рис. 9. Зависимость корковых взаимодействий на частоте мю-ритма между центральными и другими зонами коры от этапа выполняемой деятельности в серии «Произнесение ONE» в группе монолингвов-юношей.

Примечания:

На графике представлены только статистически значимые различия уровней корковых связей ($p < 0,05$).

На оси ординат отложены значения коэффициента корреляции в относительных единицах.

Фон, подготовка, выполнение – этапы выполняемой деятельности.

Обнаружено, что наблюдение за произнесением слова «Rain» сопровождается ослаблением и усилением корковых связей у монолингвов-юношей и усилением корковых связей у билингов-юношей.

Если у монолингвов-юношей при наблюдении за произнесением слова «Rain» отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) ослабление корреляции: между отведениями Т3 и С3 на 1,7 % на этапе подготовки по сравнению с фоном; между отведениями С4 и О1 на 1,7 % на этапе выполнения по сравнению с подготовкой, а также усиление корреляции между отведениями Сz и Р4 на 1 % на этапе выполнения по сравнению с подготовкой. У билингов-юношей, как и при наблюдении за произнесением слова «Боль», отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) усиление корреляции: между отведениями: С3 и С4 на 4 %, С3 и Т6 на 3,1

%, С3 и О1 на 4,6 %, F3 и Cz на 2 %, Cz и О1 на 3 %, С4 и P3 на 3,6 %, С4 и О1 на 3,6 % на этапе подготовки по сравнению с фоном; между отведениями С3 и С4 на 3,1 %, С3 и О1 на 2,8 %, F4 и Cz на 2 %, С4 и P4 на 2 % на этапе выполнения по сравнению с фоном.

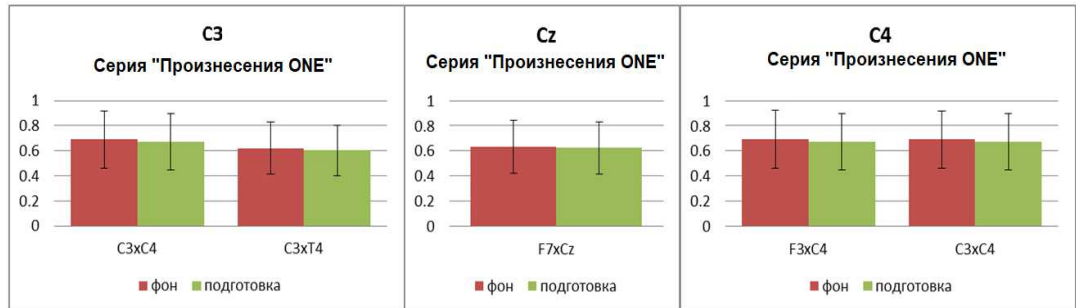


Рис. 10. Зависимость корковых взаимодействий на частоте мю-ритма между центральными и другими зонами коры от этапа выполняемой деятельности в серии «Произнесение ONE» в группе билингвов-юношей.

Примечания:

На графике представлены только статистически значимые различия уровней корковых связей ($p < 0,05$).

На оси ординат отложены значения коэффициента корреляции в относительных единицах.

Фон, подготовка, выполнение – этапы выполняемой деятельности.

Оказалось, что произнесение слова «Rain» сопровождается у монолингвов-юношей усилением и ослаблением корковых связей, а у билингвов-юношей – только ослаблением корковых связей между центральными и другими зонами коры.

Так у монолингвов-юношей при произнесении слова «Rain» наблюдается статистически значимое ($p < 0,05$) ослабление корреляции: между отведениями Cz и С4 на 1,6 % на этапе подготовки по сравнению с фоном; между отведениями Т3 и С3 на 1,6 %, С3 и Т6 на 1,5 % на этапе выполнения по сравнению с фоном; между отведениями F4 и Cz на 1,9 %, Cz и Т4 на 1,3 %, F4 и С4 на 1,8 % на этапе выполнения по сравнению с подготовкой, а также усиление корреляции между отведениями Cz и P3 на 2,6 %, Cz и О2 на 3,7 %, С4 и О1 на 4,6 % на этапе подготовки по сравнению с фоном; между отведениями С3 и Т5 на 3,5 %, С3 и О1 на 3,5 %, Cz и О2 на 3,8 %, С4 и P3 на 1,9 %, С4 и Pz на 1,9 %, С4 и О1 на 3,6 % на этапе выполнения по сравнению с подготовкой. У билингвов-юношей при произнесении того же слова наблюдается статистически значимое ($p < 0,05$) ослабление корреляции между отведениями С3 и Cz на 1,5 % на этапе выполнения по сравнению с фоном.

Возможно, обнаруженные различия обусловлены тем, что произнесение слова «Rain» для монолингвов-юношей является более сложной задачей, чем для билингвов-юношей, которые практически в одинаковой степени владеют русским и английским языками.

Изучение корковых взаимодействий у девушек – монолингвов и билингвов позволило обнаружить и сходство, и различия с динамикой корковых связей у юношей.

В частности, при наблюдении за произнесением слова «Боль», как у юношей, так и у девушек (монолингвов и билингвов), отмечается преимущественно усиление корковых связей.

Так у монолингвов-девушек при наблюдении за произнесением слова «Боль» отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) усиление корреляции: между отведениями Cz и Pz на 1,9 % на этапе подготовки по сравнению с фоном; между отведениями F4 и Cz на 1,6 %, F8 и Cz на 1,8 %, F8 и C4 на 1,6 % на этапе выполнения по сравнению с фоном, а также ослабление корреляции между отведениями T3 и C3 на 2 %, C3 и T5 на 2,6 % на этапе выполнения по сравнению с фоном; между отведениями F7 и C4 на 1,7 %, T3 и C4 на 2 % на этапе выполнения по сравнению с подготовкой. У билингвов-девушек при наблюдении за произнесением того же слова отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) усиление корреляции: между отведениями F8 и C3 на 2,1 %, C3 и C4 на 1,9 %, C3 и T4 на 2,5 %, Cz и O1 на 1,5 %, F8 и C4 на 1,7 %, C4 и O1 на 1,7 % на этапе подготовки по сравнению с фоном; между отведениями F3 и C3 на 2,8 %, Fz и C3 на 2,7 %, F4 и Cz на 1,4 %, Cz и C4 на 1,4 %, F8 и C4 на 2,7 % на этапе выполнения по сравнению с фоном; между отведениями Cz и O1 на 2,1 %, C4 и T6 на 1,7 %, C4 и O1 на 3 %, C4 и O2 на 1,8 % на этапе выполнения по сравнению с подготовкой, а также ослабление корреляции между отведениями F3 и C3 на 1,7 %, Fz и C3 на 2 % на этапе выполнения по сравнению с подготовкой.

С другой стороны, если у юношей (монолингвов и билингвов) при произнесении слова «Раз» отмечается ослабление корковых связей между центральными и другими зонами коры, то у девушек (монолингвов и билингвов) наблюдается преимущественно усиление корковых связей.

Так у монолингвов-девушек при произнесении слова «Раз» наблюдается статистически значимое ($p < 0,05$) усиление корреляции: между отведениями Fz и Cz на 2,1 %, Cz и P4 на 1,6 %, C4 и O1 на 1,4 % на этапе подготовки по сравнению с фоном; между отведениями Cz и O1 на 1,9 %, C4 и Pz на 1,6 % на этапе выполнения по сравнению с фоном; между отведениями F3 и Cz на 2,1 %, Fz и Cz на 1,8 %, Fz и C4 на 1,7 %, F8 и C4 на 2,2 % на этапе выполнения по сравнению с подготовкой. У билингвов-девушек при произнесении того же слова наблюдается статистически значимое ($p < 0,05$) усиление корреляции: между отведениями C3 и Cz на 1,4 % на этапе подготовки по сравнению с фоном; между отведениями F8 и Cz на 1,8 % на этапе выполнения по сравнению с фоном; между отведениями C4 и T5 на 1,3 % на этапе выполнения по сравнению с подготовкой, а также ослабление корреляции между отведениями Cz и T5 на 1,9 %, Cz и O1 на 2 %, C4 и T5 на 2,5 % на этапе выполнения по сравнению с фоном.

Возможно, обнаруженные различия между юношами и девушками обусловлены тем, что слово «Раз» для девушек не является эмоционально-нейтральным.

Проведенные исследования показали, что корковые взаимодействия на частоте мю-ритма между центральными и другими зонами коры при наблюдении и произнесении слов на родном и неродном языках существенно отличаются у

монолингвов и билингвов и зависят от: вида и этапа выполняемой деятельности; пола и эмоциональной значимости слова; языка, на котором произносятся эти слова.

Обнаруженные межгрупповые различия корковых связей между монолингвами и билингвами, по-видимому, свидетельствуют о том, что предлагаемая деятельность, связанная с наблюдением и произнесением слов на родном и неродном языках, обеспечивается у монолингвов и билингвов разными функциональными системами. На это указывают и некоторые литературные данные, свидетельствующие о том, что освоение иностранного языка сопровождается значительными пластическими перестройками мозговых структур. В частности, установлено [14], 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.

В определенной степени это подтверждают итоги мета-анализа результатов томографических исследований, которые свидетельствуют о том, что использование второго языка у билингвов осуществляется теми же сетями, что и родного, но с привлечением «дополнительных областей мозга» [15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования показали, что наблюдение за произнесением слов и произнесение слов на родном и неродном языках сопровождается снижением спектральной мощности в центральных отведениях ЭЭГ на отдельных частотах мю-ритма и, чаще всего, усилением корковых связей на частоте этого ритма между центральными и другими зонами коры. Характер этих изменений отличается у монолингвов и билингвов и зависит от: вида и этапа выполняемой деятельности; пола и эмоциональной значимости слова; языка, на котором произносятся эти слова.

Предполагается, что у билингвов и монолингвов выполнение когнитивной деятельности, связанной с наблюдением за произнесением слов и произнесением слов на родном и неродном языках, обеспечивается разными функциональными системами.

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. 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.
3. Махин С. А. Система "зеркальных нейронов": актуальные достижения и перспективы ЭЭГ исследований / С. А. Махин // Ученые записки Таврического нац. университета им. В. И. Вернадского. Биология и химия. – 2012. – Т. 25 (64), № 1. – С. 142–146.

4. Gehrig J. Setting up the speech production network: How oscillations contribute to lateralized information routing / J. Gehrig, M. Wibral, C. Arnold, C. A. Kell // *Frontiers in Psychology*. – 2012. – Vol. 3. – P. 169.
5. Mandel A. Sensorimotor activation related to speaker vs. listener role during natural conversation / A. Mandel, M. Bourguignon, L. Parkkonen [et al.] // *Neuroscience Letters*. – 2016. – Vol. 614. – P. 99–104.
6. Salmelin R., Sams M. Motor cortex involvement during verbal versus nonverbal lip and tongue movements / R. Salmelin, M. Sams // *Human Brain Mapping*. – 2002. – Vol. 16, No 2. – P. 81–91.
7. Saltuklaroglu T. EEG mu rhythms: Rich sources of sensorimotor information in speech processing / T. Saltuklaroglu, A. Bowersb, A.W. Harkridera [et al.] // *Brain and Language*. – 2018. – Vol. 187. – P. 41–61.
8. Buzsaki G. *Rhythms of the Brain* / G. Buzsaki. – New York: Oxford University Press, 2006.
9. Kane N. A revised glossary of terms most commonly used by clinical electroencephalographers and updated proposal for the report format of the EEG findings. Revision 2017 / N. Kane, J. Acharya, S. Beniczky [et al.] // *Clinical Neurophysiology Practice*. – 2017. – Vol. 2. – P. 170–185.
10. Бушов Ю. В. Роль зеркальных нейронов в интерпретации действий и намерений / Ю. В. Бушов, В. Л. Ушаков, М. В. Светлик [и др.] // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. – 2021. – № 56. – С. 86–107.
11. Бендат Дж. Измерение и анализ случайных процессов / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М.: Мир, 1971. – 408 с.
12. Сви́дерская Н. Е. Пространственная организация ЭЭГ и индивидуально-психологические характеристики / Н. Е. Сви́дерская, Т. А. Коро́лькова // *Журнал высшей нервной деятельности* – 1996. – Т. 46, № 4. – С. 689–698.
13. Abutalebi J. The role of the left putamen in multilingual language production / J. Abutalebi, P. A. Della Rosa, A. K. C. Gonzaga [et al.] // *Brain and language*. – 2013. – Vol. 125, No 3. – P. 307–315.
14. Mårtensson J. Growth of language-related brain areas after foreign language learning / J. Mårtensson, J. Eriksson, N. C. Bodammer [et al.] // *Neuroimage*. – 2012. – Vol. 63, No 1. – P. 240–244.
15. Liu H. L1 and L2 processing in the bilingual brain: A meta-analysis of neuroimaging studies / H. Liu, F. Cao // *Brain and language*. – 2016. – Vol. 159. – P. 60–73.

ELECTRICAL BRAIN ACTIVITY IN MONOLINGUAL AND BILINGUAL PEOPLE WHEN OBSERVING AND PRONOUNCIING WORDS IN NATIVE AND NATIVE LANGUAGES

Skryabina A. A., Moshkina M. V., Svetlik M. V., Nagel O. 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*

The study of the impact of bilingualism on the mechanisms of production and perception of speech in native and non-native languages is an urgent problem of physiology. In particular, the influence of bilingualism on cortical interactions at the mu-rhythm frequency has not been sufficiently studied. Mu-rhythm depression (8–13 Hz) is a characteristic correlate of mirror neuron activity.

We studied cortical interactions at the mu-rhythm frequency between the central and other areas of the cortex in monolinguals and bilinguals (boys and girls) when observing and pronouncing words in their native (Russian) and non-native (English) languages.

Methods. The study involved boys and girls: monolinguals with A1 (elementary) or A2 (pre-intermediate) English proficiency on the CEFR scale (Common European

Framework of Reference) and bilinguals with B2 (upper intermediate) or C1 (advanced) English proficiency. Type of bilingualism: consistent and artificial.

The participants in the experiment, depending on the series, either silently uttered the word with their own lips, or watched the operator who carried out this activity. The series alternated as follows: observation of the word «Раз», pronunciation of the word «Раз», observation of the word «Боль», pronunciation of the word «Боль», observation of the word «One», pronunciation of the word «One», observation of the word «Pain», pronunciation of the word «Pain». The pronunciation of a word (to the subjects in the series with pronunciation or to the operator in the series with observation) was carried out when the stopwatch arrow on the monitor screen crossed the divisions of 0, 5, 10, etc. seconds. In one series, the stopwatch hand made 5 revolutions.

Before the performance of the activity and during its performance, the EEG was recorded monopolarly in the participants 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 references.

When processing the obtained data, the maximum values of cross-correlation functions and estimates of the spectral power were calculated in short segments of the EEG recording (1.5 sec.) without artifacts: 3 sec. (background) and 1.5 sec. (preparation stage) before the stopwatch arrow crossed the corresponding division and immediately after the specified event (action step). The obtained values of the correlation coefficients and estimates of the spectral power were averaged separately for each stage of activity, for each series and for all subjects. Statistical data processing was performed using the MatLab v6.5 package and the Wilcoxon test for linked samples.

Results. The conducted studies showed that the observation and pronunciation of words in the native and non-native languages by monolinguals and bilinguals are accompanied by a statistically significant ($p < 0.05$) decrease in the spectral power in the central EEG derivations at certain mu-rhythm frequencies and at different stages of the activity performed.

In addition to the above, it was found that cortical interactions at the mu-rhythm frequency between the central and other areas of the cortex during observation and pronunciation of words in the native and non-native languages differ significantly in monolinguals and bilinguals and depend on: the type and stage of the activity performed; gender and emotional significance of the word; the language in which the word is spoken.

When observing the pronunciation of the word «Раз» in monolingual youths, a statistically significant ($p < 0.05$) weakening of the correlation between some central and other cortical zones is noted, when observing the pronunciation of the word «Боль» – an increase in correlation, while in bilingual youths in both cases, there is both an increase and a decrease in the correlation (however, the increase predominates). A statistically significant ($p < 0.05$) decrease in the levels of cortical connections between some central and other areas of the cortex in both groups is observed when pronouncing the word «Раз» and in most cases when pronouncing the word «Боль».

When observing the pronunciation of the word «One», monolingual youths are dominated by a weakening of cortical connections between some central and other areas of the cortex, while bilingual youths show an increase in cortical connections.

Pronunciation of the word «One», observation of the pronunciation of the word «Pain» and pronunciation of the word «Pain» in monolingual youths is accompanied by both strengthening and weakening of cortical connections between the central and other cortical areas, while in bilingual youths pronouncing the word «One» and the pronunciation of the word «Pain» are characterized only by a weakening of the cortical connections between the central and other areas of the cortex, and the observation of the pronunciation of the word «Pain» only by strengthening.

The study of cortical interactions in girls – monolinguals and bilinguals – found both similarities and differences with the dynamics of cortical connections in boys.

Conclusion. It is assumed that in bilinguals and monolinguals, activities related to the observation and pronunciation of words in their native and non-native languages are provided by different functional systems.

Keywords: cortical interactions, 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. 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).
3. Makhin S.A., «Mirror neurons» system: current achievements and research trends in use of the EEG-based methods, *Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. Series: Biology, chemistry*, **25** (64), (1), 142 (2012).
4. Gehrig J., Wibrat M., Arnold C. and Kell C.A., Setting up the speech production network: How oscillations contribute to lateralized information routing, *Frontiers in Psychology*, **3**, 169 (2012).
5. Mandel A., Bourguignon M., Parkkonen L. and Hari R., Sensorimotor activation related to speaker vs. listener role during natural conversation, *Neuroscience Letters*, **614**, 99 (2016).
6. Salmelin R. and Sams M., Motor cortex involvement during verbal versus nonverbal lip and tongue movements, *Human Brain Mapping*, **16** (2), 81 (2002).
7. Saltuklaroglu T., Bowers A., Harkrider A.W., Casenhiser D., Reilly K., Jenson D.E. and Thorndom D., EEG mu rhythms: Rich sources of sensorimotor information in speech processing, *Brain and Language*, **187**, 41 (2018).
8. Buzsaki G. *Rhythms of the Brain* (Oxford University Press Inc., New York, 2006).
9. Kane N., Acharya J., Beniczky S., Caboclo L., Finnigan S., Kaplan P.W. Shibusaki H., Pressler R. and van Putten MJAM., A revised glossary of terms most commonly used by clinical electroencephalographers and updated proposal for the report format of the EEG findings. Revision 2017, *Clinical Neurophysiology Practice*, **2**, 170 (2017).
10. Bushov Yu. V., Ushakov V. L., Svetlik M.V., Kartashov S.I. and Orlov V.A., The role of mirror neurons in the interpretation of actions and intentions, *Tomsk State University Journal of Biology*, **56**, 86 (2021).
11. Bendat, J.S and Piersol A.G., *Measurement and analysis of random data, Measurement and analysis of random processes*, 408 p. (Mir, Moscow, 1971).
12. Sviderskaia N. E. and Korol'kova T. A., The spatial organization of the EEG and individual psychological characteristics, *Zh. Vyssh. Nerv. Deiat.*, **46** (4), 689 (1996).
13. Abutalebi J., Della Rosa P.A., Gonzaga A.K.C., Keim R., Costa A. and Perani D., The role of the left putamen in multilingual language production, *Brain and language*, **125** (3), 307 (2013).
14. 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).
15. Liu H. and Cao F., L1 and L2 processing in the bilingual brain: A meta-analysis of neuroimaging studies, *Brain and language*, **159**, 60 (2016).