

**МЕЖДУНАРОДНАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
«COGNITIO»**

**XXXVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ XXI ВЕКА»**

**(31.10.2018г.)**

г. Москва 2018г.

© Международная исследовательская организация "Cognitio"

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

### КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЮ-РИТМА У ЧЕЛОВЕКА ПРИ НАБЛЮДЕНИИ И РЕПРОДУКЦИИ ПЯТИСЕКУНДНОГО РИТМА

Бушов Ю.В..  
Светлик М.В..  
Есипенко Е.А.

*Томский государственный университет, Томск*

### CORRELATION AND SPECTRAL CHARACTERISTICS OF MU- RHYTHM IN HUMANS DURING OBSERVATION AND REPRODUCTION OF FIVE-SECOND RHYTHM

Bushov Y. V.  
Svetlik M. V.  
Esipenko E. A.

*Tomsk state University, Tomsk*

#### **Аннотация**

У 32 практически здоровых юношей, правшей исследовали корковые взаимодействия и спектральные характеристики мю-ритма при наблюдении и репродукции пятисекундного ритма. Полученные данные свидетельствуют о том, что мю-ритм отражает активность «двигательных» зеркальных нейронов. Однако, этот эффект зависит от частоты указанного ритма, вида и этапа выполняемой деятельности, а также латеральной организации мозга.

#### **Abstract**

Cortical interactions and spectral characteristics of mu-rhythm were studied in 32 healthy young right-handed men under observation and reproduction of five-second rhythm. The findings suggest that mu-rhythm reflects the activity of "motor" mirror neurons. However, this effect depends on the frequency of the specified rhythm, the type and stage of the performed activity, as well as the lateral organization of the brain.

**Ключевые слова:** Репродукция ритма, зеркальные нейроны, мю-ритм, корковые взаимодействия.

**Keywords:** Rhythm reproduction, mirror neurons, mu-rhythm, cortical interactions.

Изучение роли зеркальных нейронов в когнитивных процессах является актуальной проблемой современной нейробиологии. Согласно популярной в настоящее время гипотезе [1], зеркальные нейроны могут служить нейрональной основой для интерпретации действий, подражательного обучения и имитации поведения других людей. Важным аспектом указанной

проблемы является поиск надежных маркеров активации этих нейронов. Особый интерес в этом плане представляет, 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]. Вместе с тем, проведенные в этом направлении исследования дали неоднозначные результаты. В частности, в опытах с параллельной регистрацией ЭЭГ и ФМРТ- сканированием мозга при наблюдении хватательных движений подтверждена связь депрессии мю-ритма с активацией системы зеркальных нейронов у человека [4]. Однако, другие авторы [5] при изучении электрической активности мозга в центральных и затылочных отведениях при наблюдении за «биологическими» движениями (руками) и небιологическими движениями (калейдоскопическими движущимися стимулами) приходят к выводу о том, что подавление мю-ритма не является действенным средством изучения активности зеркальных нейронов. На основе полученных данных эти авторы [5] утверждают, что подавление мю-ритма может быть использовано как индикатор активации зеркальных нейронов человека, но эффект слабый и ненадежный и легко смешивается с подавлением затылочного альфа-ритма. Кроме того, некоторые исследователи [6] выделяют в мю-ритме два поддиапазона 8–10 и 10–12 Гц, которые, по их мнению, функционально различаются. В ряде исследований обнаружена зависимость реактивности мю-ритма от индивидуальных особенностей человека [7]. Все эти данные указывают на необходимость дальнейших исследований, направленных, в частности, на изучение зависимости реактивности мю-ритма от вида выполняемых действий и индивидуальных особенностей человека, на выяснение функциональной значимости различных частотных составляющих этого ритма. Целью настоящего исследования явилось изучение корреляционных и спектральных характеристик мю-ритма у человека при наблюдении и репродукции пятисекундного ритма. В исследованиях участвовали добровольцы, практически здоровые юноши, студенты в возрасте от 18 до 22 лет (32 человека, правши). В первой серии («Наблюдение») испытуемый наблюдал за оператором, который вначале запоминал заданный ритм, затем средним и указательным пальцами ведущей руки воспроизводил этот ритм, периодически (50 раз) нажимая на клавишу пробел. Период ритма (5 с) задавался зрительными стимулами (светлый квадрат, появляющийся на 200 мс в центре затемненного экрана монитора). Всего предъявлялось для запоминания ритма 10 стимулов. При репродукции ритма испытуемый следил за пальцами рабочей руки оператора. Во второй серии («Репродукция ритма левой рукой») испытуемый сам выполнял указанную деятельность пальцами левой руки, а в третьей серии («Репродукция ритма правой рукой») выполнял ту же деятельность пальцами правой руки. Перед выполнением деятельности и в процессе ее выполнения регистрировали ЭЭГ с помощью энцефалографа «Энцефалан–131-03» в лобных, центральных, височных, теменных и затылочных отведениях по системе «10-20

»). 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 выделения мю-ритма частотой 8-13 Гц ЭЭГ предварительно фильтровали. При обработке полученных данных подсчитывали максимальные значения кросскорреляционных функций и оценки спектральной мощности на коротких (1,5 с), лишенных артефактов, отрезках записи ЭЭГ за 3 с (этап «Фон») и 1,5 с (этап «Подготовка») до момента нажатия на клавишу пробел и сразу после указанного события (этап «Выполнение действия»). Полученные значения коэффициентов корреляции и оценки спектральной мощности усредняли отдельно для каждого этапа деятельности и по всем испытуемым. Статистическую значимость различий оценивали по критерию Вилкоксона для связанных выборок. Проведенные исследования позволили обнаружить статистически значимые изменения спектральной мощности ЭЭГ на частотах мю-ритма на разных этапах выполняемой деятельности. Оказалось, что характер этих изменений зависит от частоты ритма, вида и этапа выполняемой деятельности. В частности, в серии «Наблюдение» на этапе «Подготовка» по сравнению с «Фоном» наблюдается статистически значимое ( $p < 0.05$ ) снижение спектральной мощности ЭЭГ на частотах 9 и 10 Гц в отведении С3, а на частоте 10 Гц в отведении С4. В то же время на этапе «Выполнение действия» по сравнению с «Подготовкой» наблюдается статистически значимое ( $p < 0.05$ ) повышение спектральной мощности ЭЭГ на частотах 8, 10 и 11 Гц в отведении С3, а также на частотах 8 и 10 Гц в отведениях С4 и Cz. На этапе «Выполнение действия» по сравнению с «Фоном» статистически значимые изменения спектральной мощности ЭЭГ на частотах мю-ритма не выявлены. Сходные изменения спектральной мощности ЭЭГ на частотах мю-ритма обнаружены во второй и третьей сериях. В частности, во второй серии на этапе «Подготовка» по сравнению с «Фоном», наблюдается статистически значимое ( $p < 0.05$ ) снижение спектральной мощности ЭЭГ на частотах 8 и 10 Гц в отведениях С3 и С4. В то же время на этапе «Выполнение действия» по сравнению с «Подготовкой» наблюдается статистически значимое ( $p < 0,05$ ) повышение спектральной мощности ЭЭГ на частоте 11 Гц в отведении С3. На этапе «Выполнение действия» по сравнению с «Фоном» статистически значимые изменения спектральной мощности ЭЭГ на частотах мю-ритма отсутствовали. В третьей серии на этапе «Подготовка» по сравнению с «Фоном» наблюдается статистически значимое ( $p < 0.05$ ) снижение спектральной мощности ЭЭГ на частотах 9 и 11 Гц в отведении С3, на частотах 10 и 11 Гц в отведении С4 и на частотах 8 и 11 Гц в отведении Cz. На этапе «Выполнение действия» по сравнению с «Фоном» также наблюдается статистически значимое ( $p < 0.05$ ) снижение спектральной мощности ЭЭГ на частоте 11 Гц в отведении С3. Однако на этапе «Выполнение действия» по сравнению с «Подготовкой» наблюдается статистически значимое ( $p < 0.05$ ) повышение спектральной мощности ЭЭГ на частотах 8 и 10 Гц в отведении С3, на частотах 7, 8, 10, 11, 12 и 13 Гц в отведении С4, на частотах 7, 8, 10, 11 и 12 Гц в отведении Cz, а на частоте 13 Гц в отведении С3 обнаружено снижение

спектральной мощности ЭЭГ. Сравнение серий с репродукцией ритма левой и правой рукой позволило обнаружить ожидаемые межполушарные различия в величинах спектральной мощности ЭЭГ на частотах мю-ритма. Оказалось, что на этапе «Выполнение действия» при репродукции ритма левой рукой спектральная мощность ЭЭГ на частоте 11 Гц в отведении С4 статистически значимо ( $p < 0.05$ ) ниже, чем в том же отведении при репродукции ритма правой рукой. По-видимому, обнаруженное на некоторых частотах снижение спектральной мощности мю-ритма отражает активацию «двигательных» зеркальных нейронов [8]. Установлено, что депрессия мю-ритма наиболее выражена на этапе «Подготовка» по сравнению с этапом «Выполнение действия». Это отмечается и при наблюдении, и при репродукции ритма. Причем, депрессия мю-ритма на этапе «Подготовка» наблюдается и в левополушарных, и правополушарных центральных отведениях. Вероятно, это отражает совместную активацию левополушарных и правополушарных «двигательных» зеркальных нейронов на указанном этапе предлагаемой деятельности. Анализ корковых взаимодействий позволил обнаружить в серии «Наблюдение» на этапе «Выполнение действия» по сравнению с «Фоном» статистически значимое ( $p < 0,05$ ) снижение уровней корковых связей на частоте мю-ритма между центральными и лобной зоной коры левого полушария.

Изменения уровней корковых связей на частоте мю-ритма на разных этапах деятельности, связанной с наблюдением за репродукцией ритма, представлены на рис. 1А.

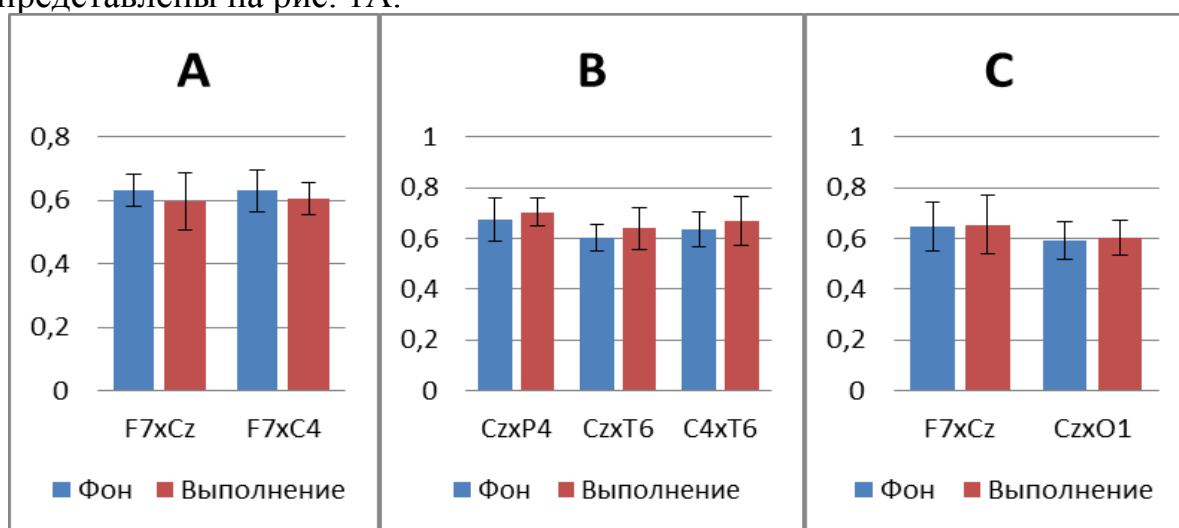


Рис. 1. Зависимость корковых взаимодействий на частоте мю-ритма от этапа выполняемой деятельности в сериях «Наблюдение» (А), «Репродукция ритма левой рукой» (В) и «Репродукция ритма правой рукой» (С)

Примечание: на оси ординат отложены значения коэффициента корреляции в отн. ед.

В то же время при репродукции ритма левой рукой на этапе «Выполнение действия» по сравнению с «Фоном» обнаружено статистически значи-

мое усиление уровней корковых связей на частоте мю-ритма между центральными и теменными, центральными и височными зонами коры правого полушария. В серии с репродукцией ритма правой рукой обнаружено статистически значимое по сравнению с «Фоном» усиление уровней корковых связей на частоте мю-ритма между центральными и лобными, центральными и затылочными зонами коры левого полушария.

Изменения уровней корковых связей на частоте мю-ритма на разных этапах деятельности, связанной с репродукцией ритма, представлены на рис. 1В и рис. 1С.

Вероятно, обнаруженное усиление корковых связей при репродукции ритма обусловлено передачей сигналов из сенсорных зон коры в корковые области, входящие в зеркальную систему [8], а обнаруженные межполушарные различия динамики корковых связей обусловлены латеральной организацией двигательных центров руки. Сравнение корковых взаимодействий при наблюдении и репродукции ритма позволило обнаружить отчетливые различия: ослабление межполушарных связей при наблюдении (рис. 1.А) и усиление внутрислошарных связей при репродукции ритма (рис.1.В, рис. 1.С).

Таким образом, выполнение когнитивной деятельности, связанной с наблюдением и репродукцией ритма, сопровождается: 1) изменением спектральной мощности ЭЭГ на частотах мю-ритма, которое зависит от частоты ритма, латеральной организации мозга, а также от вида и этапа выполняемой деятельности; 2) ослаблением межполушарных корковых связей между центральной и лобной зонами коры левого полушария при наблюдении за репродукцией ритма; 3) усилением корковых связей между центральными и лобными, центральными и височными, центральными и затылочными зонами коры при репродукции ритма, которое зависит от вида, этапа выполняемой деятельности и латеральной организации мозга. Полученные данные также свидетельствуют о том, что мю-ритм отражает активность «двигательных» зеркальных нейронов, что проявляется в депрессии этого ритма при наблюдении и репродукции ритма. Однако, этот эффект зависит от частоты указанного ритма, вида и этапа выполняемой деятельности, а также латеральной организации мозга.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 18-013-00758).

## Литература

1. Jump up Skoyles, John R., Gesture Language Origins and Right Handedness // Psychology. 2000. Vol. 11. P. 24 -29.
2. Аликина М.А., Махин С.А., Павленко В.Б. Амплитудно-частотные, топографические, возрастные особенности и функциональное значение сенсомоторного ритма ЭЭГ // 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 // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Биология и химия. 2012, т.25 (64). №1. С. 142-146.
4. Anat Perry, Shlomo Bentin Mirror activity in the human brain while observing hand movements: A comparison between EEG desynchronization in the  $\mu$ -range and previous fMRI results // Brainresorch. - 2009. 1 2 8 2 . pp. 1 2 6 - 1 3 2.
5. Hannah M. Hobson and Dorothy V.M. Bishop Mu suppression e A good measure of the human mirror neuron system?//Cortex.- 2016. 8 2. pp. 2 9 0 -3 1 0
6. Pfurtscheller G., Neuper C. and Krausz G., Functional dissociation of lower and upper frequency mu rhythms in relation to voluntary limb movement // Clin. Neurophysiol. 2000. 111. pp. 1873 - 1876.
7. Yvonne Höller, Jürgen Bergmann, Martin Kronbichler, Julia Sophia Crone, Elisabeth Verena Schmid, Aljoscha Thomschewski, Kevin Butz, Verena Schütze, Peter Höller, Eugen Trinka Real movement vs. motor imagery in healthy subjects // International Journal of Psychophysiology. 2013. 87. pp. 35 - 41.
8. Риццолатти Дж., Синигалья К. Зеркала в мозге: О механизмах совместного действия и сопереживания. - М., 2012. - 208 с.