

ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ, АССОЦИИРОВАННЫЕ С ВНУТРЕННЕЙ РЕЧЬЮ¹

*О.М. Бахтин** ORCID: [0000-0003-2164-7885](https://orcid.org/0000-0003-2164-7885)

*Е.М. Кривко*** ORCID: [0000-0001-9003-4690](https://orcid.org/0000-0001-9003-4690)

*В.Н. Кирой** ORCID: [0000-0003-3560-9935](https://orcid.org/0000-0003-3560-9935)

*Научно-исследовательский технологический центр нейротехнологий
Южного федерального университета
(г. Ростов-на-Дону)

**Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского
Южного федерального университета
(г. Ростов-на-Дону)

Известно, что внутренняя речь сопровождается непроизвольной активацией артикуляционной мускулатуры, что может приводить к появлению артефактов, регистрируемых на электроэнцефалограмме (ЭЭГ). Последнее важно учитывать при разработке систем коммуникации и управления, основанных на технологии интерфейса «мозг–компьютер» и ЭЭГ. С целью изучения электромиографических (ЭМГ-) коррелятов внутренней речи исследовалась многоканально регистрируемая ЭЭГ в рамках методических подходов, разработанных ранее (Kamavuko E.N. et al., 2018; Кирой В.Н. и др., 2015). Оценка наличия и выраженности ЭМГ-артефактов в параллельно регистрируемой ЭЭГ осуществлялась с использованием методов корреляционного и кросскорреляционного анализа. Показано, что корреляция ЭМГ- и ЭЭГ-активности выше при реализации внутренней речи (по сравнению с внешней) – об этом свидетельствуют более высокие значения коэффициентов корреляции и максимумов кросскорреляционных функций. Вместе с тем во всех случаях корреляция находится в области низких и очень низких значений, существенно не влияя на характеристики ЭЭГ-паттернов, собственно связанных с механизмами мысленной или голосовой речи. Таким образом, выявленные различия не имеют особенного значения для идентификации и анализа специфических паттернов активности, связанных с перцептивными или когнитивными процессами мозга, однако они могут быть полезны в практическом плане для оценки как минимум наличия или отсутствия внутренней

¹Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта «Создание программного комплекса для управления человеческим капиталом на основе нейротехнологий для предприятий высокотехнологического сектора Российской Федерации» (шифр: 2019-218-11-8185, внутренний номер ХД/19-22-НЙ).

Ответственный за переписку: Кривко Елена Михайловна, адрес: 344090, г. Ростов-на-Дону, просп. Стачки, д. 194/1; e-mail: ele5484@mail.ru

Для цитирования: Бахтин О.М., Кривко Е.М., Кирой В.Н. Электромиографические компоненты, ассоциированные с внутренней речью // Журн. мед.-биол. исследований. 2020. Т. 8, № 2. С. 111–120. DOI: 10.37482/2542-1298-Z001

речи, а также указывают на существование более глубокой связи периферических электромиографических проявлений внутренней (мысленной) речи с сугубо мозговыми процессами.

Ключевые слова: ЭЭГ-активность, ЭМГ-активность, гамма-диапазон, корреляционный анализ, кросскорреляционный анализ, внутренняя речь.

Интерес к изучению электрографических коррелятов внутренней (мысленной) речи в настоящее время существенно связан с разработкой неинвазивных систем коммуникации и управления в технологии интерфейса «мозг–компьютер» (ИМК) [1–5]. Показано, что на электроэнцефалограмме (ЭЭГ) могут обнаруживаться паттерны активности, специфичные для тех или иных компонентов внутренней речи [6]. В целом сделан вывод о том [7–9], что использование данных паттернов имеет значительный потенциал для повышения эффективности разрабатываемых на основе этой технологии устройств и систем, в частности так называемых VCI speller [10, 11]. Наиболее информативным при этом оказался диапазон гамма-частот ЭЭГ, который рассматривается как важная составляющая механизмов языковой обработки [12–15].

Ранее нами было показано [7], что подготовка и реализация внутренней речи коррелирует с динамикой активности ЭЭГ на частотах 64–68 Гц. Различия в содержании этапов реализуемой деятельности проявляются в формирующихся на этих частотах пространственно-временных паттернах активности. Ранее генерацию высокочастотной (50–200 Гц) активности на ЭЭГ наблюдали в ситуации голосового обозначения изображений [16], произнесения имен вслух [17], при семантической обработке [18], в процессе мысленного воспроизведения слов [14] и их проговаривания вслух [19]. При этом многие авторы указывают на то, что именно этот частотный диапазон характеризуется наличием электромиографических (ЭМГ-) шумов, доля которых может быть достаточно велика [20, 21]. ЭМГ-артефакты, связанные с нейрофизиологическими процессами мозга, обнаруживаются при многих видах деятельности [21]. В отдельных работах было

показано отсутствие значимой корреляции между ЭЭГ и ЭМГ при моторной активности рук [1]. Тем не менее проблема влияния ЭМГ-активности на характеристики ЭЭГ продолжает оставаться актуальной.

Целью настоящего исследования являлось изучение корреляции ЭЭГ- и ЭМГ-активности, регистрируемой в области гамма-частот, при реализации обследуемыми внешней и внутренней речи.

Материалы и методы. Исследование было реализовано в рамках методических подходов, используемых при изучении электрографических коррелятов речи, потенциально пригодных для использования в системах ИМК [3, 7]. В нем приняли участие 5 мужчин в возрасте 20–30 лет (средний возраст $23,7 \pm 1,1$ лет), правши, без отклонений в состоянии здоровья. Эксперимент проводился в соответствии с принципами Хельсинкской декларации, от всех обследуемых было получено письменное согласие на участие.

Процедура обследования. Во время всего обследования каждый из участников располагался в свето- и звукоизолированной камере в условиях сниженной освещенности на расстоянии 1 м от экрана монитора.

Экспериментальная процедура являлась модифицированной версией методики, примененной в наших предыдущих исследованиях [7]. Модификации касались набора используемых слов и способа их произношения. В данном исследовании набор состоял из 6 слов, обозначающих направления: «вверх», «вниз», «влево», «вправо», «вперед», «назад». Слова произносились, когда положения стрелки на циферблате часов, демонстрируемых на экране монитора, совпадали с делениями, отмеченными красным цветом, которые следовали с интервалом в 3 с. В течение одного

полного оборота стрелки часов по циферблату необходимо было произносить только одно из указанных слов, которое предварительно демонстрировалось на экране монитора. При этом первое произнесение было вслух, второе – мысленно, и в дальнейшем данный порядок сохранялся. Таким образом, в течение одного оборота стрелки по циферблату каждое слово произносилось вслух и мысленно 9 раз. В ходе одного обследования цикл из 6 слов повторялся 4 раза, т. е. каждое слово произносилось не менее 36 раз как вслух, так и про себя. Одновременно осуществлялась акустическая запись голосовых реализаций. Для записи фонограмм использовался анализатор речи Speech Analyzer (version 3.0.1, 1996–2007, SIL International). Запись осуществлялась в монорежиме с частотой дискретизации 22 500 Гц и квантом 16 бит. Применялись звуковая карта и микрофон с плоскими амплитудно-частотными характеристиками в пределах диапазона речевых частот. В дальнейшем в фонограммах выделялись синтаксически значимые фрагменты, состоящие из произносимых слов, с использованием звукового редактора Sound Forge 7.0 и функции Insert Region.

Перед началом эксперимента обследуемые знакомились с изображением циферблата, движением стрелки и практиковались в произнесении слов.

Регистрация ЭЭГ и ЭМГ. В процессе обследования запись велась непрерывно, монополярно в 8 отведений (F3, F4, T3, T4, T5, T6, Fz, Pz) по международной системе 10-20 с использованием электроэнцефалографа-анализатора «Энцефалан 131» производства фирмы «Медиком МТД» (Россия, г. Таганрог). Активные электроды располагались преимущественно над областями, связанными с теми или иными аспектами речи, в т. ч. при ее мысленной реализации [22–24]: F3 – pars triangularis; T3 – inferior frontal gyrus; T5 – superior temporal gyrus; Fz – superior frontal gyrus; Pz – supplementary motor cortex, а также над симметричными областями правого полушария (F4, T4, T6). Референтные электроды (референт объединенный) располагались на мочках ушей. Частота дискретизации электрограмм при их вводе в ПК составляла

250 Гц по каждому ЭЭГ-каналу, частота пропускания аналоговых фильтров – 0,5–100 Гц (использовался режекторный фильтр подавления сетевой помехи в частотном диапазоне 49,5–50,5 Гц с коэффициентом подавления в полосе помехи не менее 60 дБ).

Регистрация ЭМГ-активности осуществлялась с помощью одноразовых электродов на клеевой основе, которые фиксировались с правой и левой сторон гортани в области голосовых связок как при записи ЭЭГ, но с частотной полосой 0,5–100 Гц [25]. По отдельному каналу записывались метки, соответствующие моментам времени, когда стрелка совпадала с положениями циферблата, выделенными красным цветом, с отображением произносимого слова и типа произношения (вслух или про себя).

Анализ электрограмм. В апостериорном режиме программно по меткам для анализа отбирались безартефактные ЭЭГ- и ЭМГ-эпохи длительностью 3 с каждая, соответствующие реальному или мысленному произнесению каждого из 6 слов. Всего для каждого обследуемого отбиралось, таким образом, не менее чем по 30 ЭЭГ- и ЭМГ-эпох. Для статистического анализа ЭЭГ- и ЭМГ-активности отобранные электрограммы предварительно фильтровались при помощи полосового фильтра (Band pass) с полосой пропускания в гамма-диапазоне – 35–70 Гц. Далее с использованием пакета Statistica 8 осуществлялись: расчет коэффициентов корреляции (КК) Пирсона для каждой из параллельно зарегистрированных ЭЭГ и ЭМГ, регистрируемой в каждом из отведений, при реальном и мысленном проговаривании слов и расчет кросс-корреляционных функций для сравниваемых рядов данных. Для сравнительного статистического анализа применялся критерий Стьюдента (t) при уровне значимости $p = 0,05$ с указанием числа степеней свободы (df).

Критические значения КК ($p < 0,05$) определялись по таблице уровней значимости, тип связи оценивался в соответствии со шкалой Чеддока. Построение графиков и их оформление осуществлялось с использованием программных средств OriginPro 2018.

Результаты. Как на ЭЭГ, так и на ЭМГ обследуемых в диапазоне 30–70 Гц были представлены группы частот, которые иногда формировали отчетливые осцилляции. Значительная часть мощности приходилась на низкие частоты этого диапазона (рис. 1), что соответствует сведениям, приведенным ранее [26].

слова «вперед». Все полученные значения КК по шкале Чеддока относились к группе «очень слабая связь».

Анализ кросскорреляционных функций, рассчитанных для всех пар параллельно зарегистрированных ЭЭГ- и ЭМГ-эпох (рис. 2, 3), показал, что кросскорреляционные функции

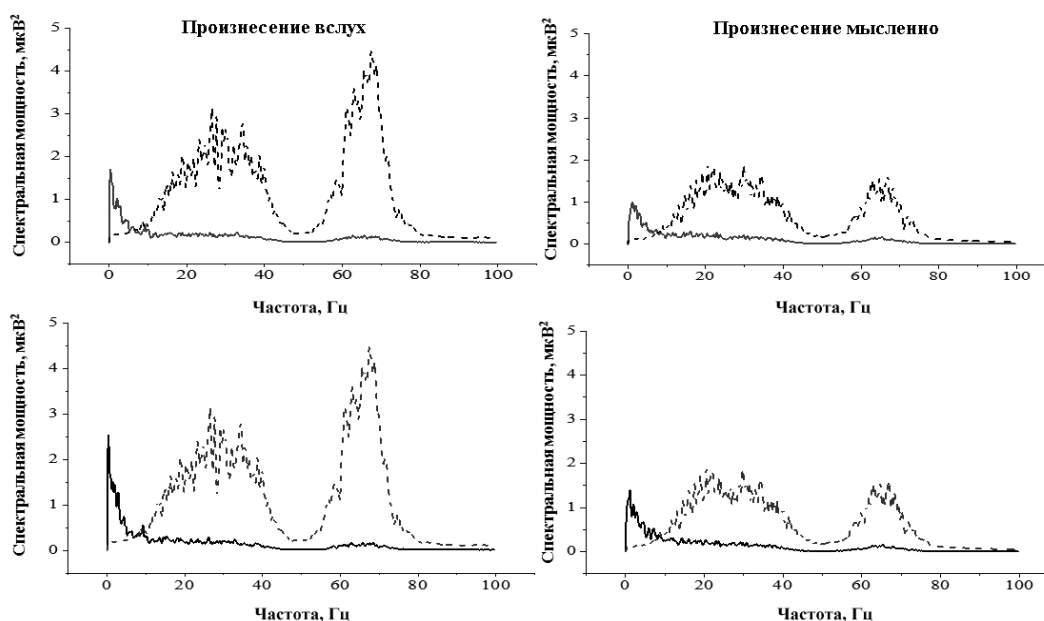


Рис. 1. Примеры спектров мощности фильтрованных ЭМГ- и ЭЭГ-активности при произнесении слов вслух и мысленно: верхние графики – ЭЭГ-активность отведения Т3; нижние – Т5; сплошная линия – ЭЭГ-запись, прерывистая – ЭМГ-запись

Как и ожидалось, мощность ЭМГ при реальном проговаривании слов была статистически значимо выше, чем при мысленном (критерий Стьюдента: $dF = 408, t = 13,9; p < 0,000001$). В отличие от ЭМГ, мощность ЭЭГ-частот во всех случаях была примерно одинакова и статистически значимо не различалась в ситуации реального и мысленного воспроизведения слов ($dF = 408, t = 1,05; p < 0,1$). Последнее указывает на то, что сколько-нибудь существенно мощность ЭМГ-частот не влияла на характеристики ЭЭГ-активности. Это предположение подтвердилось и результатами корреляционного анализа. В таблице приведены средние значения КК, рассчитанные для 5 обследуемых и каждого отведения ЭЭГ при произнесении

**КОЭФФИЦИЕНТЫ КОРРЕЛЯЦИИ
ЭЭГ- И ЭМГ-АКТИВНОСТИ
ПРИ ПРОИЗНЕСЕНИИ СЛОВА «ВПЕРЕД»**

| Отведение | Произнесение слова | |
|-----------|--------------------|-----------|
| | реальное (вслух) | мысленное |
| F4 | 0,08±0,02 | 0,09±0,04 |
| F3 | 0,06±0,02 | 0,08±0,01 |
| T6 | 0,07±0,03 | 0,09±0,01 |
| T5 | 0,04±0,01 | 0,06±0,02 |
| T4 | 0,05±0,01 | 0,07±0,01 |
| T3 | 0,04±0,01 | 0,05±0,02 |
| Fz | 0,07±0,01 | 0,05±0,01 |
| Pz | 0,04±0,01 | 0,07±0,01 |

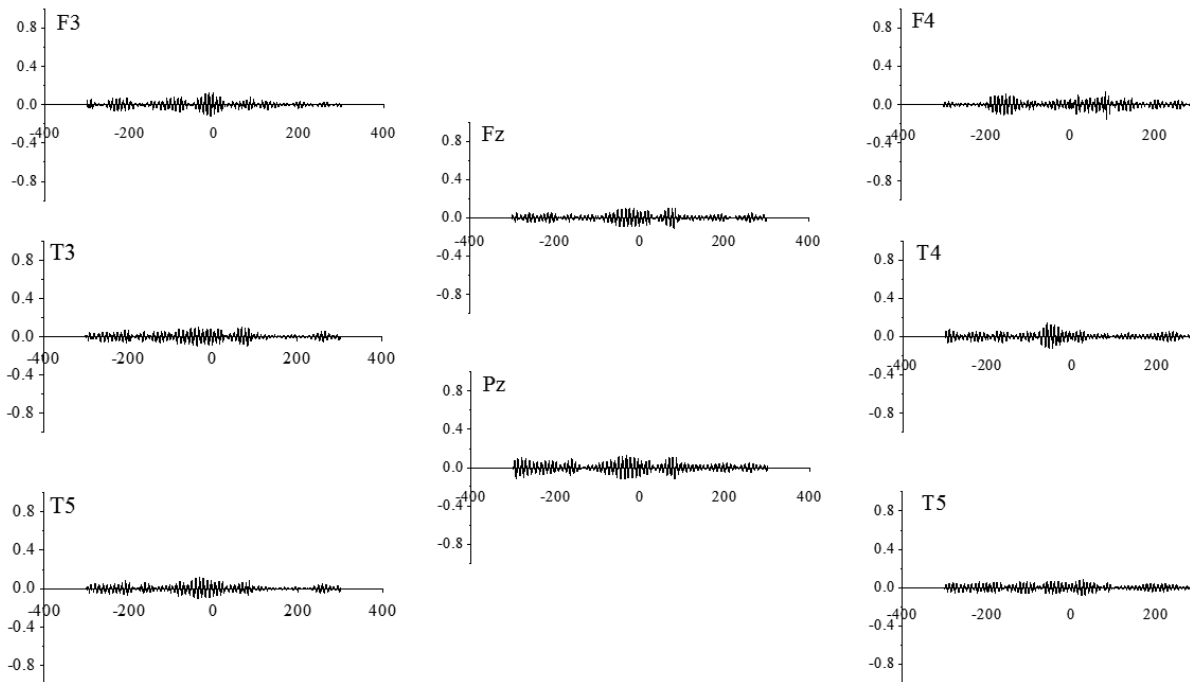


Рис. 2. Кросскорреляционные отношения ЭМГ и ЭЭГ, регистрируемых в разных отведениях при произнесении слова «вперед» вслух: по оси x – текущий лаг; по оси y – коэффициент кросс-корреляции

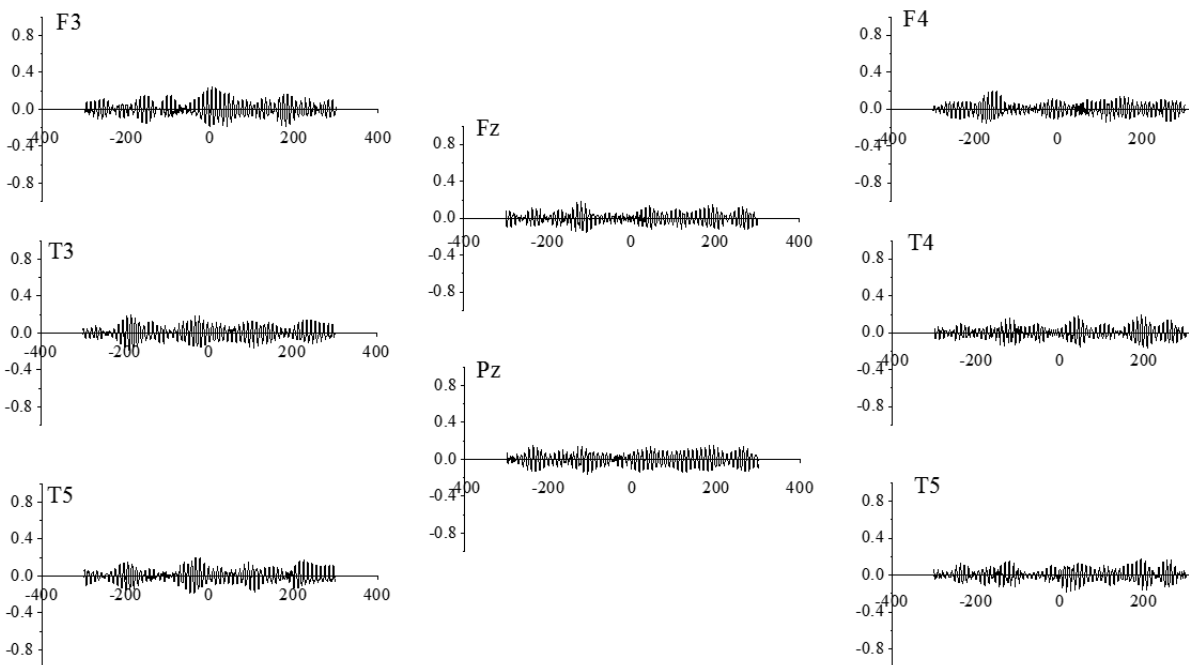


Рис. 3. Кросскорреляционные отношения ЭМГ и ЭЭГ, регистрируемых в разных отведениях при произнесении слова «вперед» мысленно: по оси x – текущий лаг; по оси y – коэффициент кросс-корреляции

носили выраженный периодический характер, а их максимум, который мог приходиться на ненулевой сдвиг, во всех случаях соответствовал очень слабой связи по шкале Чеддока.

Кросскорреляционный анализ также показал, что средние значения максимумов кросскорреляции между ЭЭГ и ЭМГ в целом выше в ситуации мысленного произнесения слов (рис. 2–4).

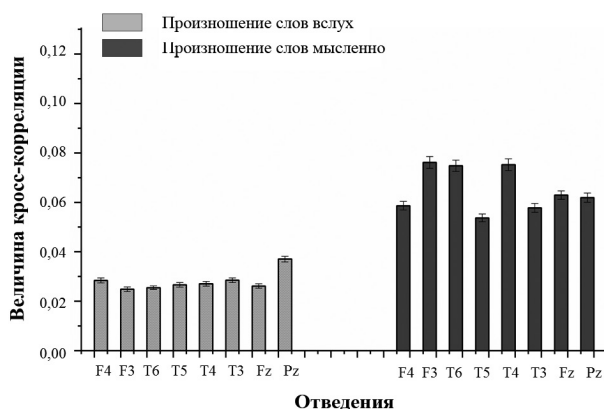


Рис. 4. Диаграммы значений максимумов кросскорреляционных функций, рассчитанных для параллельно зарегистрированных ЭМГ- и ЭЭГ-эпох при произнесении слов вслух и мысленно

Обсуждение. Известно, что при произнесении слов вслух и мысленно активируются артикуляционные структуры и голосовые связки, что сопровождается появлением электромиографических артикуляционных компонентов [21, 22]. Частотный диапазон мышечной активности при речевой деятельности лежит в области 20–300 Гц [26] и в значительной степени совпадает с ЭЭГ-частотами. Учитывая близость расположения соответствующих источников активности, ЭМГ-компоненты могут регистрироваться в ЭЭГ как артефакты, наличие которых следует учитывать. В отсутствие эффективных способов удаления ЭМГ-

составляющих без ущерба для регистрируемой мозговой активности [21] необходимо как минимум оценивать уровень ЭМГ-артефактов в ЭЭГ при реализации той или иной экспериментальной парадигмы. Для решения этой задачи нами оценивались спектральная мощность и значения КК, рассчитанные для параллельно и многоканально регистрируемых фрагментов ЭЭГ- и ЭМГ-активности, в ситуации произнесения слов вслух и про себя (мысленно).

Экспериментально показано, что спектральная мощность ЭМГ лежит в области частот 20–100 Гц, что соответствует приводимым в литературе сведениям [21, 22]. Спектральная мощность ЭЭГ, регистрируемой от различных отведений в области частот 0,5–10 Гц, статистически значимо не различается в ситуации реального и мысленного произнесения слов. КК, рассчитанные между параллельно зарегистрированными ЭЭГ- и ЭМГ-эпохами как при реальном, так и при мысленном произнесении слов, лежат в области очень низких значений по шкале Чеддока. Наконец, значения КК и максимумов кросскорреляционных функций оказались статистически значимо выше в ситуации мысленного проговаривания слов. С одной стороны, на фоне тотально низкого уровня корреляции эти различия не имеют особенного значения для идентификации и анализа специфических паттернов активности, связанных с перцептивными или когнитивными процессами мозга. Однако эти различия, по-видимому, могут быть полезны в практическом плане – для оценки как минимум наличия/отсутствия внутренней речи, а также указывают на существование более глубокой связи периферических (электромиографических) проявлений внутренней (мысленной) речи с сугубо мозговыми процессами.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Kiroi V.N., Vladimirskii B.M., Aslanyan E.V., Bakhtin O.M., Minyaeva N.R. Electrographic Correlates of Actual and Imagined Movements: Spectral Analysis // *Neurosci. Behav. Physiol.* 2012. Vol. 42, № 1. P. 21–27.
2. Pasley B.N., David S.V., Mesgarani N., Flinker A., Shamma S.A., Crone N.E., Knight R.T., Chang E.F. Reconstructing Speech from Human Auditory Cortex // *PLoS Biol.* 2012. Vol. 10, № 1. Art. № e1001251.
3. Kamavuako E.N., Sheikh U.A., Gilani S.O., Jamil M., Niazi I.K. Classification of Overt and Covert Speech for Near-Infrared Spectroscopy-Based Brain Computer Interface // *Sensors.* 2018. Vol. 18. P. 2989. DOI: 10.3390/s18092989
4. Cooney C., Folli R., Coyle D. Mel Frequency Cepstral Coefficients Enhance Imagined Speech Decoding Accuracy from EEG // 2018 29th Irish Signals and Systems Conference (Belfast, UK, 21–22 June 2018). Belfast, UK, 2018. DOI: 10.1109/ISSC.2018.8585291
5. Cooney C., Folli R., Coyle D. Neurolinguistics Research Advancing Development of a Direct-Speech Brain-Computer Interface // *iScience.* 2018. Vol. 8. P. 103–125.
6. Brigham K., Kumar B.V.K. Imagined Speech Classification with EEG Signals for Silent Communication: A Preliminary Investigation into Synthetic Telepathy // *IEEE.* 2010. P. 1–4. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5515807> (дата обращения: 12.05.2019).
7. Кирой В.Н., Бахтин О.М., Миняева Н.Р., Лазуренко Д.М., Асланян Е.В., Кирой П.И. Электрографические корреляты внутренней речи // *Журн. высш. нерв. деятельности.* 2015. Т. 65, № 5. С. 616–625.
8. Martin S., Brunner P., Iturrate I., Millán J.R., Schalk G., Knight R.T., Pasley B.N. Word Pair Classification During Imagined Speech Using Direct Brain Recordings // *Sci. Rep.* 2016. Vol. 6. Art. № 25803.
9. Herff C., de Pesters A., Heger D., Brunner P., Schalk G., Schultz T. Towards Continuous Speech Recognition for BCI // *Brain-Computer Interface Research: A State-of-the-Art Summary 5* / ed. by C. Guger, B. Allison, J. Ushiba. Springer International Publishing, 2017. P. 1–9.
10. Chen X., Wang Y., Nakanishi M., Gao X., Jung T.-P., Gao S. High-Speed Spelling with a Noninvasive Brain-Computer Interface // *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2015. Vol. 112, № 44. P. E6058–E6067.
11. Iljina O., Derix J., Schirrmeyer R.T., Schulze-Bonhage A., Auer P., Aertsen A., Ball T. Neurolinguistic and Machine-Learning Perspectives on Direct Speech BCIs for Restoration of Naturalistic Communication // *Brain-Comput. Interfaces.* 2017. Vol. 4, № 3. P. 186–199.
12. Towle V.L., Yoon H.A., Castelle M., Edgar J.C., Biassou N.M., Frim D.M., Spire J.P., Kohrman M.H. ECoG Gamma Activity During a Language Task: Differentiating Expressive and Receptive Speech Areas // *Brain.* 2008. Vol. 131, Pt. 8. P. 2013–2027.
13. Llorens A., Trébuchon A., Liégeois-Chauvel C., Alario F.-X. Intra-Cranial Recordings of Brain Activity During Language Production // *Front. Psychol.* 2011. Vol. 2. Art. № 375. DOI: 10.3389/fpsyg.2011.00375
14. Pei X., Leuthardt E.C., Gaona C.M., Brunner P., Wolpaw J.R., Schalk G. Spatiotemporal Dynamics of Electrographic High Gamma Activity During Overt and Covert Word Repetition // *NeuroImage.* 2011. Vol. 54, № 4. P. 2960–2972.
15. Pei X., Barbour D.L., Leuthardt E.C., Schalk G. Decoding Vowels and Consonants in Spoken and Imagined Words Using Electrographic Signals in Humans // *J. Neural Eng.* 2011. Vol. 8, № 4. Art. № 046028. DOI: 10.1088/1741-2560/8/4/046028
16. Sinai A., Bowers C.W., Crainiceanu C.M., Boatman D., Gordon B., Lesser R.P., Lenz F.A., Crone N.E. Electrographic High Gamma Activity Versus Electrical Cortical Stimulation Mapping of Naming // *Brain.* 2005. Vol. 128, Pt. 7. P. 1556–1570.
17. Cervenka M.C., Corines J., Boatman-Reich D.F., Eloyan A., Sheng X., Franaszczuk P.J., Crone N.E. Electrographic Functional Mapping Identifies Human Cortex Critical for Auditory and Visual Naming // *NeuroImage.* 2013. Vol. 69. P. 267–276.
18. Crone N.E., Sinai A., Korzeniewska A. High Frequency Gamma Oscillations and Human Brain Mapping with Electrographic // *Prog. Brain Res.* 2006. Vol. 159. P. 275–295.
19. Crone N.E., Hao L., Hart J. Jr., Boatman D., Lesser R.P., Irizarry R., Gordon B. Electrographic Gamma Activity During Word Production in Spoken and Sign Language // *Neurology.* 2001. Vol. 57, № 11. P. 2045–2053.
20. Demandt E., Mehring C., Vogt K., Schulze-Bonhage A., Aertsen A., Ball T. Reaching Movement Onset- and End-Related Characteristics of EEG Spectral Power Modulations // *Front. Neurosci.* 2012. Vol. 6. Art. № 65. DOI: 10.3389/fnins.2012.00065

21. Muthukumaraswamy S.D. High-Frequency Brain Activity and Muscle Artifacts in MEG/EEG: A Review and Recommendations // *Front. Hum. Neurosci.* 2013. Vol. 7. Art. № 138. DOI: 10.3389/fnhum.2013.00138
22. Petersen S.E., Fox P.T., Posner M.I., Mintun M., Raichle M.E. Positron Emission Tomographic Studies of the Processing of Single Words // *J. Cogn. Neurosci.* 1989. Vol. 1, № 2. P. 153–170.
23. Price C.J. A Review and Synthesis of the First 20 Years of PET and fMRI Studies of Heard Speech, Spoken Language and Reading // *NeuroImage.* 2012. Vol. 62, № 2. P. 816–847.
24. Berwick R.C., Friederici A.D., Chomsky N., Bolhuis J.J. Evolution, Brain, and the Nature of Language // *Trends Cogn. Sci.* 2013. Vol. 17, № 2. P. 89–98.
25. Гельфанд С.А. Слух. Введение в психологическую и физиологическую акустику: пер. с англ. О.К. Федоровой, О.П. Токарева. М.: Медицина, 1984. 350 с.
26. Cram's Introduction to Surface Electromyography / ed. by E. Criswell. London: Jones and Bartlett Publishers, 2011. 412 p.

References

1. Kiroi V.N., Vladimirskii B.M., Aslanyan E.V., Bakhtin O.M., Minyaeva N.R. Electrographic Correlates of Actual and Imagined Movements: Spectral Analysis. *Neurosci. Behav. Physiol.*, 2012, vol. 42, no. 1, pp. 21–27.
2. Pasley B.N., David S.V., Mesgarani N., Flinker A., Shamma S.A., Crone N.E., Knight R.T., Chang E.F. Reconstructing Speech from Human Auditory Cortex. *PLoS Biol.*, 2012, vol. 10, no. 1. Art. no. e1001251.
3. Kamavuako E.N., Sheikh U.A., Gilani S.O., Jamil M., Niazi I.K. Classification of Overt and Covert Speech for Near-Infrared Spectroscopy-Based Brain Computer Interface. *Sensors (Basel)*, 2018, vol. 18, no. 9. Art. no. 2989. DOI: 10.3390/s18092989
4. Cooney C., Folli R., Coyle D. Mel Frequency Cepstral Coefficients Enhance Imagined Speech Decoding Accuracy from EEG. *2018 29th Irish Signals and Systems Conference*. Belfast, 2018, pp. 1–7. DOI: 10.1109/ISSC.2018.8585291
5. Cooney C., Folli R., Coyle D. Neurolinguistics Research Advancing Development of a Direct-Speech Brain-Computer Interface. *iScience*, 2018, vol. 8, pp. 103–125.
6. Brigham K., Kumar B.V.K. Imagined Speech Classification with EEG Signals for Silent Communication: A Preliminary Investigation into Synthetic Telepathy. *IEEE*, 2010, pp. 1–4. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5515807> (accessed: 12 May 2019).
7. Kiroi V.N., Bakhtin O.M., Minyaeva N.R., Lazurenko D.M., Aslanyan E.V., Kiroi R.I. Elektrograficheskie korrelyaty vnutrenney rechi [Electrographic Correlations of Inner Speech]. *Zhurnal vysshey nervnoy deyateli'nosti*, 2015, vol. 65, no. 5, pp. 616–625.
8. Martin S., Brunner P., Iturrate I., Millán J.R., Schalk G., Knight R.T., Pasley B.N. Word Pair Classification During Imagined Speech Using Direct Brain Recordings. *Sci. Rep.*, 2016, vol. 6. Art. no. 25803.
9. Herff C., de Pestors A., Heger D., Brunner P., Schalk G., Schultz T. Towards Continuous Speech Recognition for BCI. Guger C., Allison B., Ushiba J. (eds.). *Brain-Computer Interface Research: A State-of-the-Art Summary 5*. Springer International Publishing, 2017, pp. 1–9.
10. Chen X., Wang Y., Nakanishi M., Gao X., Jung T.-P., Gao S. High-Speed Spelling with a Noninvasive Brain-Computer Interface. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2015, vol. 112, no. 44, pp. E6058–E6067.
11. Iljina O., Derix J., Schirmer R.T., Schulze-Bonhage A., Auer P., Aertsen A., Ball T. Neurolinguistic and Machine-Learning Perspectives on Direct Speech BCIs for Restoration of Naturalistic Communication. *Brain-Comput. Interfaces*, 2017, vol. 4, no. 3, pp. 186–199.
12. Towle V.L., Yoon H.A., Castelle M., Edgar J.C., Biassou N.M., Frim D.M., Spire J.P., Kohrman M.H. ECoG Gamma Activity During a Language Task: Differentiating Expressive and Receptive Speech Areas. *Brain*, 2008, vol. 131, pt. 8, pp. 2013–2027.
13. Llorens A., Trébuchon A., Liégeois-Chauvel C., Alario F.-X. Intra-Cranial Recordings of Brain Activity During Language Production. *Front. Psychol.*, 2011, vol. 2. Art. no. 375. DOI: 10.3389/fpsyg.2011.00375
14. Pei X., Leuthardt E.C., Gaona C.M., Brunner P., Wolpaw J.R., Schalk G. Spatiotemporal Dynamics of Electrocorticographic High Gamma Activity During Overt and Covert Word Repetition. *NeuroImage*, 2011, vol. 54, no. 4, pp. 2960–2972.

15. Pei X., Barbour D.L., Leuthardt E.C., Schalk G. Decoding Vowels and Consonants in Spoken and Imagined Words Using Electrographic Signals in Humans. *J. Neural Eng.*, 2011, vol. 8, no. 4. Art. no. 046028. DOI: 10.1088/1741-2560/8/4/046028
16. Sinai A., Bowers C.W., Crainiceanu C.M., Boatman D., Gordon B., Lesser R.P., Lenz F.A., Crone N.E. Electrographic High Gamma Activity Versus Electrical Cortical Stimulation Mapping of Naming. *Brain*, 2005, vol. 128, pt. 7, pp. 1556–1570.
17. Cervenka M.C., Corines J., Boatman-Reich D.F., Eloyan A., Sheng X., Franaszczuk P.J., Crone N.E. Electrographic Functional Mapping Identifies Human Cortex Critical for Auditory and Visual Naming. *NeuroImage*, 2013, vol. 69, pp. 267–276.
18. Crone N.E., Sinai A., Korzeniewska A. High Frequency Gamma Oscillations and Human Brain Mapping with Electrographic. *Prog. Brain Res.*, 2006, vol. 159, pp. 275–295.
19. Crone N.E., Hao L., Hart J. Jr., Boatman D., Lesser R.P., Irizarry R., Gordon B. Electrographic Gamma Activity During Word Production in Spoken and Sign Language. *Neurology*, 2001, vol. 57, no. 11, pp. 2045–2053.
20. Demandt E., Mehring C., Vogt K., Schulze-Bonhage A., Aertsen A., Ball T. Reaching Movement Onset- and End-Related Characteristics of EEG Spectral Power Modulations. *Front. Neurosci.*, 2012, vol. 6. Art. no. 65. DOI: 10.3389/fnins.2012.00065
21. Muthukumaraswamy S.D. High-Frequency Brain Activity and Muscle Artifacts in MEG/EEG: A Review and Recommendations. *Front. Hum. Neurosci.*, 2013, vol. 7. Art. no. 138. DOI: 10.3389/fnhum.2013.00138
22. Petersen S.E., Fox P.T., Posner M.I., Mintun M., Raichle M.E. Positron Emission Tomographic Studies of the Processing of Single Words. *J. Cogn. Neurosci.*, 1989, vol. 1, no. 2, pp. 153–170.
23. Price C.J. A Review and Synthesis of the First 20 Years of PET and fMRI Studies of Heard Speech, Spoken Language and Reading. *NeuroImage*, 2012, vol. 62, no. 2, pp. 816–847.
24. Berwick R.C., Friederici A.D., Chomsky N., Bolhuis J.J. Evolution, Brain, and the Nature of Language. *Trends Cogn. Sci.*, 2013, vol. 17, no. 2, pp. 89–98.
25. Gelfand S.A. *Hearing: An Introduction to Psychological and Physiological Acoustics*. New York, 1981. 392 p. (Russ. ed.: Gel'fand S.A. *Slukh. Vvedenie v psikhologicheskuyu i fiziologicheskuyu akustiku*. Moscow, 1984. 350 p.).
26. Criswell E. (ed.). *Cram's Introduction to Surface Electromyography*. London, 2011. 412 p.

DOI: 10.37482/2542-1298-Z001

Oleg M. Bakhtin* ORCID: [0000-0003-2164-7885](https://orcid.org/0000-0003-2164-7885)
Elena M. Krivko** ORCID: [0000-0001-9003-4690](https://orcid.org/0000-0001-9003-4690)
Valeriy N. Kirov* ORCID: [0000-0003-3560-9935](https://orcid.org/0000-0003-3560-9935)

*Research Technological Centre for Neurotechnology, Southern Federal University
(Rostov-on-Don, Russian Federation)

**Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University
(Rostov-on-Don, Russian Federation)

ELECTROMYOGRAPHIC COMPONENTS ASSOCIATED WITH INNER SPEECH

As is known, inner speech is accompanied by involuntary activation of articulatory muscles, which can produce artifacts recorded in electroencephalogram (EEG). The latter is important to consider when developing communication and control systems based on brain-computer interface and EEG technology. In order to study electromyographic (EMG) correlates of inner speech, multichannel EEG was investigated within the framework of methodological approaches developed earlier (Kamavuako E.N. et al., 2018; Kirov V.N. et al., 2015). The presence and severity of EMG artifacts in parallel EEG recordings were

assessed using the correlation and cross-correlation analysis methods. It is shown that the correlation of EMG and EEG activity is higher in inner speech (compared to overt speech), which is indicated by greater correlation coefficients and maxima of cross-correlation functions / correlation and cross-correlation coefficients. At the same time, in all cases the correlation stays in the region of low and very low values, without significantly affecting the characteristics of EEG patterns associated with the mechanisms of overt and covert speech. We believe that these differences are not particularly important for the identification and analysis of specific patterns of activity associated with perceptual or cognitive processes in the brain. However, they seem to be useful in practical terms to assess, at least, the presence / absence of inner speech, as well as indicate the existence of a deeper connection between the peripheral electromyographic manifestations of the inner (covert) speech and purely cerebral processes.

Keywords: *EEG activity, EMG activity, gamma range, correlation analysis, cross-correlation analysis, inner speech.*

Поступила 18.10.2019

Принята 21.02.2020

Received 18 October 2019

Accepted 21 February 2020

Corresponding author: Elena Krivko, *address:* prosp. Stachki 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russian Federation; *e-mail:* ele5484@mail.ru

For citation: Bakhtin O.M., Krivko E.M., Kirov V.N. Electromyographic Components Associated with Inner Speech. *Journal of Medical and Biological Research*, 2020, vol. 8, no. 2, pp. 111–120. DOI: 10.37482/2542-1298-Z001