



Оригинальная статья

© CC BY 4.0

УДК 616.98+578.834.1-036.22-036.86+616.8-073.756.1
<https://doi.org/10.56871/RBR.2026.94.16.008>

Количественный анализ электроэнцефалографии у амбулаторных пациентов с психосоматическими проявлениями после COVID-19

Никита Юрьевич Кипятков, Сергей Александрович Лытаев, Нина Валентиновна Скребцова,
Виктория Витальевна Гайворонская, Ксения Алексеевна Бельская

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, 194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2, Российская Федерация

Для цитирования: Кипятков Н.Ю., Лытаев С.А., Скребцова Н.В., Гайворонская В.В., Бельская К.А. Количественный анализ электроэнцефалографии у амбулаторных пациентов с психосоматическими проявлениями после COVID-19. *Российские биомедицинские исследования*. 2026;11(1):77–90. <https://doi.org/10.56871/RBR.2026.94.16.008>.

Поступила: 10.12.2025

Одобрена: 30.01.2026

Принята к печати: 27.03.2026

Автор

для корреспонденции:

Никита Юрьевич
Кипятков.
E-mail:
fd@pnd1.spb.ru

Резюме. Введение. Электроэнцефалографию рассматривают как наиболее важный инструмент для оценки пространственно-временных особенностей электрической активности мозга при обследовании пациентов с неврологическими проявлениями COVID-19, особенно при проявлении энцефалопатии, судорог и эпилептического статуса. **Цель исследования** — выделить различные паттерны электроэнцефалограммы, характерные для группы пациентов, перенесших COVID-19, при визуальном анализе электроэнцефалограммы и с помощью количественных методов — спектрального и когерентного анализа, оценить возможные очаговые изменения. **Материалы и методы.** Регистровали электроэнцефалограмму 125 амбулаторных пациентов в возрасте от 16 до 68 лет, находящихся под наблюдением в психоневрологическом диспансере с COVID-19 в анамнезе и психосоматическими жалобами на момент обследования. Контрольную группу составили 45 здоровых испытуемых. **Результаты.** Данные регистрации и анализа электроэнцефалограммы были разделены на три типа паттернов: полиморфная низкочастотная активность; низкочастотная полиморфная активность с преобладанием медленных волн (дельта- и тета-диапазоны); высокочастотная электроэнцефалограмма с доминантой в бета-1-диапазоне. **Выводы.** Отмечено формирование очаговых изменений медленноволнового характера с характерной локализацией в правой височной области у 20% пациентов. Индекс корреляции в альфа-диапазоне стабилен для электроэнцефалографии контрольной группы, где у 90% испытуемых коэффициенты корреляции в альфа-диапазоне были более 0,6. Напротив, среди пациентов наблюдалась полиморфная картина, стабильные показатели с коэффициентом более 0,6 для всех изученных связей как между полушариями, так и внутри полушарий были зарегистрированы только в 25% случаев. При анализе коэффициентов когерентности у пациентов отмечены более высокая стабильность межполушарных связей и различные варианты ослабления связей внутри полушарий, которые часто носят зеркальный характер.

Ключевые слова: электроэнцефалография, ЭЭГ, постковид, спектральный анализ, когерентный анализ ЭЭГ

© Коллектив авторов, 2026

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.



Original article

<https://doi.org/10.56871/RBR.2026.94.16.008>

Quantitative electroencephalography analysis data in outpatient patients with psychosomatic manifestations following COVID-19

Nikita Yu. Kipyatkov, Sergey A. Lytaev, Nina V. Skrebtsova, Victoria V. Gaivoronskaia, Ksenia A. Belskaya

Saint Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya str., Saint Petersburg, 194100, Russian Federation

For citation: Kipyatkov N.Yu., Lytaev S.A., Skrebtsova N.V., Gaivoronskaia V.V., Belskaya K.A. Quantitative electroencephalography analysis data in outpatient patients with psychosomatic. *Russian Biomedical Research*. 2026;11(1):77–90. (In Russ.). <https://doi.org/10.56871/RBR.2026.94.16.008>.

Received: 10.12.2025

Revised: 30.01.2026

Accepted: 27.03.2026

Corresponding author:

Nikita Yu. Kipyatkov.

E-mail:

fd@pnd1.spb.ru

Abstract. Introduction. The electroencephalography is considered as the most important tool for assessing the spatiotemporal features of the electrical activity of the brain in the examination of patients with neurological manifestations of COVID-19, especially in cases of encephalopathy, seizures and epileptic status. **Aim.** It was planned to identify various electroencephalography patterns characteristic of the COVID-19 group of patients with visual electroencephalography analysis and to evaluate possible focal changes using quantitative methods such as spectral and coherent analysis. **Materials and methods.** The electroencephalography of 125 outpatient patients aged 16 to 68 years who were under observation at a neuropsychiatric dispensary with a history of COVID-19 and psychosomatic complaints at the time of the examination was recorded. The control group consisted of 45 healthy subjects. **Results.** The obtained results made it possible to divide the results of electroencephalography registration and analysis into three types of patterns: polymorphic low-frequency activity; low-frequency polymorphic activity with a predominance of slow waves (delta and theta bands); high-frequency electroencephalography with a dominant in the beta1 band. **Conclusions.** The formation of focal changes of a slow-wave nature with a characteristic localization in the right temporal region is noted in 20% of patients. The correlation index in the alpha range is stable for the electroencephalography of the control group, where 90% of the subjects had correlation coefficients in the alpha range of more than 0.6. On the contrary, a polymorphic pattern is observed among patients, stable indicators with a coefficient of more than 0.6 for all studied connections, both between the hemispheres and within the hemispheres, were recorded only in 25% of cases. The analysis of coherence coefficients in patients, on the contrary, shows a higher stability of interhemispheric connections and various options for reducing connections within the hemispheres, which often have a mirror character.

Keywords: electroencephalography, post-COVID condition, EEG spectral analysis, EEG coherence analysis

© 2026 by the authors

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.



ВВЕДЕНИЕ

Период распространения коронавирусной инфекции (COroonaVirus Disease 2019, COVID-19) сопровождался взрывным ростом исследований в области вирусологии и эпидемиологии, инфекционных болезней, клинической физиологии и фармакологии. Оказалось, что изменения, вызванные перенесенной инфекцией, связаны с интересами самых разных, причем узких, специальностей медицинской науки. Многие специалисты в разных мировых лабораториях видят разнообразные специфические и неспецифические проявления последствий коронавирусной инфекции, как близких по анамнезу, так и очень отдаленных. Сегодня продолжаются научные дебаты о том, можно ли неспецифические, но сходные результаты в серии опубликованных случаев энцефалопатии, ассоциированной с COVID-19 (дезорганизованная фоновая активность с диффузным замедлением лобного преобладания с низкой реактивностью), считать отличительными признаками COVID-19 или, наоборот, это обусловлено многофакторным происхождением, не вызываемым непосредственно вирусом [1–7]. Кроме того, интерес к результатам исследований электроэнцефалографии (ЭЭГ) при COVID-19 обусловлен аналогичными результатами при ряде неврологических заболеваний — вирусном энцефалите/энцефалопатии, связанных с COVID-19, эпилепсии, а также демиелинизирующих и нейродегенеративных процессах [1, 8, 9]. Неврологические осложнения возникают у 1/3 (34,6%) пациентов с тяжелым COVID-19 и включают инсульт, головную боль и судороги [10]. В публикациях, посвященных ЭЭГ при COVID-19, количество пациентов варьирует от единичных случаев [8, 11, 12] до 100 [13, 14]. Результаты этих исследований разнообразны и включают как нормальную ЭЭГ [15], так и диффузное замедление во всех случаях [16–18]. В некоторых работах продемонстрировано преобладание фронтальных изменений [1, 7, 19, 20].

Наиболее распространенным ЭЭГ-признаком, отмечаемым у 2/3 (68,6%) пациентов, является генерализованное снижение средней частоты колебаний [21–23]. Это может быть маркером диффузной неспецифической энцефалопатии — наиболее распространенной аномалии головного мозга при этом заболевании. К другим ЭЭГ-признакам, указывающим на диффузную энцефалопатию, относятся генерализованная ритмическая дельта-активность и генерализованные периодические графоэлементы с трехфазной морфологией [24–26]. Регистрируют также латеральные периодические и ритмические изменения, характерные для сопутствующей очаговой дисфункции у некоторых пациентов. Эпилептиформные расстройства не редкость в изученных ЭЭГ (13,0%), что свидетельствует о повышенной возбудимости коры головного мозга,

предшествующей судорожным припадкам. На самом деле у 5,5% пациентов были припадки или эпилептический статус [27, 28]. Иногда в исследованиях отмечают характерные лобные аномалии, что коррелирует с предполагаемым проникновением COVID-19 в мозг [8, 16, 17, 19, 20].

Считается, что ранние клинические проявления COVID-19, такие как anosmia и ageusia, связаны с проникновением вируса в слизистую оболочку носа и полости рта, чему способствуют рецепторы ACE-2 (angiotensin-converting enzyme 2, рецептор ангиотензинпревращающего фермента 2) [27–29]. Последующее распространение в орбитофронтальную область [29] через афферентные нервы приводит к преимущественному вовлечению обонятельной луковицы и орбитофронтальной/лобной областей, что может объяснить формирование локальных изменений на ЭЭГ в лобных отведениях [28]. Ряд исследователей предлагают использовать лобные эпилептиформные разряды в качестве биомаркеров COVID-19 [8, 12, 16, 32, 33]. Примерно половина всех зарегистрированных эпилептических состояний (10 из 22) формируется в лобных долях по сравнению с 18% (4 из 22) в затылочной доле. В дополнение к лобной доле COVID-19 также может поражать грушевидную кору, лимбические структуры, таламус, гипоталамус, ствол головного мозга и вегетативные структуры [30, 31, 34–36]. Исследователи пытаются связать различные результаты ЭЭГ у пациентов, перенесших COVID-19, с другими факторами, такими как повреждение легких с последующей гипоксией, остановка сердца, метаболические изменения, синдром системной воспалительной реакции, повышенная свертываемость крови, васкулиты и инсульты и т.д. Данные свидетельствуют о том, что тяжесть нарушений ЭЭГ коррелирует с насыщением крови кислородом в момент поступления в стационар, но данными нейровизуализации доказать эту взаимосвязь пока не удается [37]. Кроме этого, изменения ЭЭГ также могут быть обусловлены ранее существовавшими неврологическими заболеваниями, такими как эпилепсия [19, 38, 39]. Таким образом, на сегодняшний день не существует единого паттерна ЭЭГ, который формировался бы за короткий промежуток времени с момента начала распространения COVID-19. Нет сомнений в том, что спектр нейрофизиологических изменений будет очень широким и полиморфным, однако статистически достоверный анализ большого объема данных откроет направления для дальнейшего анализа. Кроме того, не исключены любопытные конкретные находки.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выделить паттерны ЭЭГ, характерные для группы пациентов, как при помощи классического визуального анализа ЭЭГ, так и количественных методов —



спектрального и когерентного анализа, а также выявить возможные очаговые изменения, возникшие на ЭЭГ как последствия COVID-19.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Были обследованы амбулаторные пациенты, проходящие плановую диагностику и лечение в СПбГБУЗ «Психоневрологический диспансер № 1». Для анализа сформированы две группы — А и В. Группа А состояла из 125 пациентов (возраст 18–68 лет, 68 женщин и 57 мужчин), перенесших COVID-19 от 3 до 12 месяцев назад, с различными психосоматическими жалобами, послужившими поводом для обращения за психотерапевтической помощью. Группа В (контрольная) состояла из 45 здоровых испытуемых (соотношение возраста и пола аналогично группе А), проходивших обследование на предмет допуска к профессиональной деятельности без наличия в анамнезе коронавирусной инфекции.

ЭЭГ регистрировали в соответствии с международной системой 10–20 в 16 монополярных отведениях (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P3, P4, O1, O2) с использованием стандартного референтного монтажа (референтный электрод был расположен на скуловой области испытуемых слева). ЭЭГ проводили с применением аппаратно-программного комплекса Мицар-ЭЭГ-202. В ходе исследования выполняли рутинные функциональные пробы, включающие тесты с открытием и закрытием глаз, стимуляцию светом с варьирующей частотой (в диапазоне 1–15 Гц), а также трехминутную пробу с форсированным дыханием (гипервентиляцией).

Компьютерный анализ осуществлен с использованием программного обеспечения WinEEG 2.1 и Loreta-Key Viewer 04. Первоначально ЭЭГ оценивали визуально по частотным и амплитудным параметрам, а также по распределению ритма на конвексительной поверхности и степени десинхронизации ритма при открытии глаз и/или появлении одиночных вспышек света. С помощью количественных методов ЭЭГ определяли спектральную мощность в основных частотных диапазонах, учитывая коэффициенты корреляции при сравнении внутриполушарных и межполушарных взаимодействий.

Параметры для определения спектральной мощности были следующими: выделяли фрагмент длительностью 10 с и периодом анализа 5 с. Использовали следующие дополнительные параметры: перекрытие периодов анализа 50%, временное окно Ханна и фильтр диапазона низкочастотного сигнала 0,25–1,25 Гц. Кроме того, для всех каналов регистрации выбранных сегментов ЭЭГ, свободных от артефактов, рассчитан средний спектр мощности сигнала. Полученные результаты преобразованы в проценты

таким образом, чтобы общая сумма по всем частотным диапазонам для каждого исследуемого отведения составляла 100%.

Локальные изменения спектральной мощности визуализировали с помощью метода электромагнитной томографии низкого разрешения (LORETA), результаты которой были представлены в виде двухмерных карт распределения по анатомическим структурам. Статистическую обработку данных проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel, SPSS и Statistics 17.0. Достоверность полученных результатов оценивали с применением t-критерия Стьюдента. Статистически значимыми считали различия при уровне значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При визуальном анализе ЭЭГ у переболевших COVID-19 амбулаторных больных прослеживается тенденция к снижению выраженности альфа-ритма. Альфа-активность проявлялась с задержкой как в начале записи, так и при возобновлении после пробы с открытыми/закрытыми глазами или единичных световых стимулов. Общеизвестно, что у здоровых людей возникновение стабильного альфа-ритма с высокой амплитудой в начале записи ЭЭГ в стандартных условиях (приглушенный свет, мышечное расслабление, тишина) варьирует по времени (от 1 с до 1 мин у 90% обследуемых).

Для сопоставления данных мы использовали тест на «восстановление альфа-ритма» после открытия, а затем закрытия глаз, где отправной точкой служила отметка времени в файле ЭЭГ «глаза закрыты». У здоровых участников (контрольная группа) стабильный альфа-ритм появлялся в течение 1–2 с у 80%. В исследуемой группе А «восстановление альфа-ритма» у 60% участников происходило за 5–10 с.

На рис. 1 показан фрагмент исходной ЭЭГ, иллюстрирующей этот феномен. Пациент, мужчина (48 лет), жаловался на плохой сон, неспособность сосредоточиться, снижение внимания и памяти. Он перенес коронавирусную инфекцию 4 месяца назад, лечился амбулаторно, острый период продолжался не менее 20 дней, на компьютерной томограмме была диагностирована пневмония, типичная для COVID-19. Стоит подчеркнуть, что у участников из группы А наблюдалось уменьшение амплитуды альфа-ритма. При этом частотные показатели данного ритма у этих пациентов были ближе к верхней границе диапазона (11–12 Гц против 9–10 Гц в контрольной группе).

В настоящем исследовании при сравнении спектральной мощности ЭЭГ в двух группах у пациентов, перенесших COVID-19, наблюдалось устойчивое снижение индекса в альфа-диапазоне ЭЭГ, в то время как ЭЭГ здоровых людей демонстрирует явное

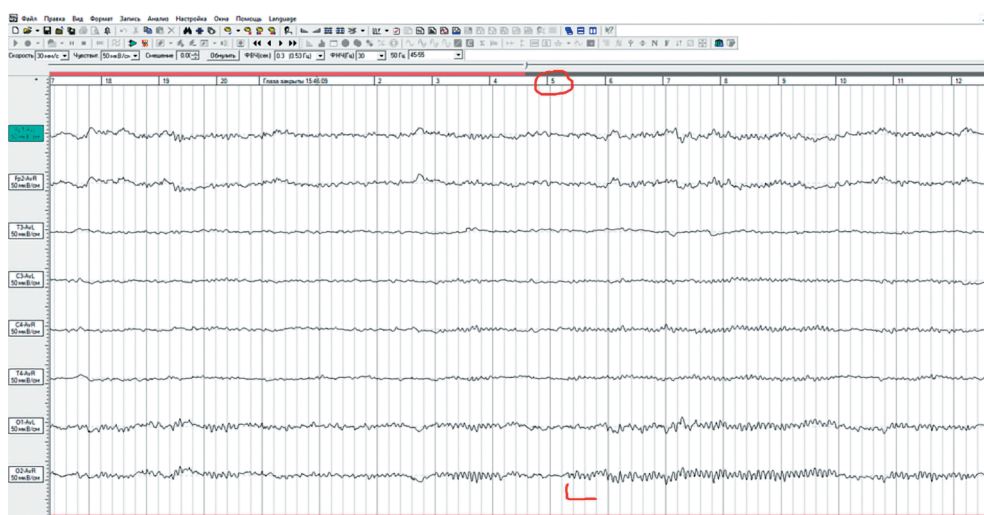


Рис. 1. Электроэнцефалограмма мужчины, перенесшего COVID-19, 48 лет. Замедление восстановления альфа-ритма после закрытия глаз. Маркеры указывают на устойчивое увеличение индекса альфа-диапазона с 5-й секунды (фото из архива ПНД № 1, 2022–2023 гг.)

Fig. 1. Electroencephalogram of a 48-year-old man who recovered from COVID-19. Delayed alpha rhythm recovery after eye closure. Markers indicate a steady increase in the alpha frequency range index from the 5th second (photo from the archive of PND No. 1, 2022–2023)

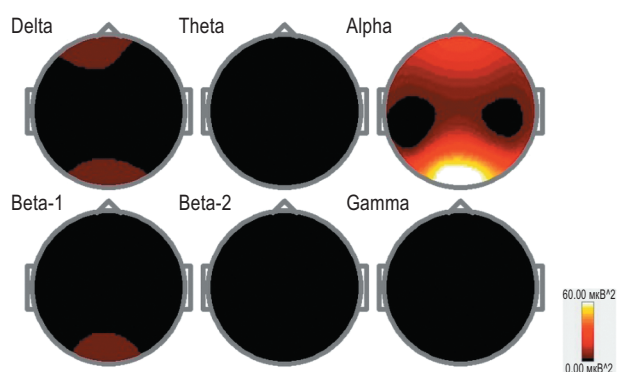


Рис. 2. Распределение спектральной мощности при выполнении электроэнцефалографии у здорового испытуемого (мужчина, 45 лет) из контрольной группы В (фото из архива ПНД № 1, 2022–2023 гг.)

Fig. 2. Distribution of electroencephalogram spectral power in a healthy subject (male, 45 years old) from control group B (photo from the archive of PND No. 1, 2022–2023)

преобладание альфа-ритма как при визуальном анализе, так и при определении спектральной мощности сигнала. На рис. 2 отмечен более «светлый» спектр красно-желтого цвета, соответствующий высокому уровню присутствия колебаний в альфа-диапазоне, и отмечено его симметричное распределение с максимальным показателем в затылочной области. Такой паттерн распределения спектральной мощности характерен для 70% здоровых людей. Визуально такие ЭЭГ оценивают как паттерны с доминирующим альфа-ритмом.

В группе А (амбулаторные пациенты) наблюдается более широкое распределение вариантов спектральной мощности по различным частотным диапазонам

ЭЭГ, что соответствует критерию достоверности ($p < 0,05$) по сравнению с данными о спектральной мощности в группе здоровых. Традиционная доминанта альфа-ритма встречается значительно реже (20%). Для большинства пациентов (62%) ЭЭГ характеризуется распределением биосигналов во всех диапазонах от дельта- до бета-2-волн. В этом случае выделить устойчивую доминанту не представляется возможным (рис. 3).

На рис. 3 и 4 представлены карты частотного анализа ЭЭГ, а также результаты электромагнитной томографии мозга пациента мужского пола, 50 лет, перенесшего COVID-19 в среднетяжелой форме. Шесть месяцев назад он проходил лечение в стационаре общего профиля с последующим переводом в инфекционное отделение. Несмотря на то что пациент считает, что выздоровел, и вернулся к работе, он жалуется на сохраняющиеся признаки астеновегетативного синдрома: общую слабость, повышенное потоотделение и, как следствие, упадок жизненной энергии.

При анализе данных обращает на себя внимание формирование локализованного очага медленной активности в дельта-диапазоне (и в меньшей степени в тета-диапазоне) в правой полушарии мозга с наибольшей выраженностью в височной области. Этот локальный феномен отчетливо визуализируется на двухмерном графике, построенном методом электромагнитной томографии низкого разрешения (LORETA): красной стрелкой выделена зона повышенной спектральной мощности в правой височной доле (см. рис. 4). Подобное очаговое доминирование было зафиксировано у 20% пациентов, входящих в группу А.

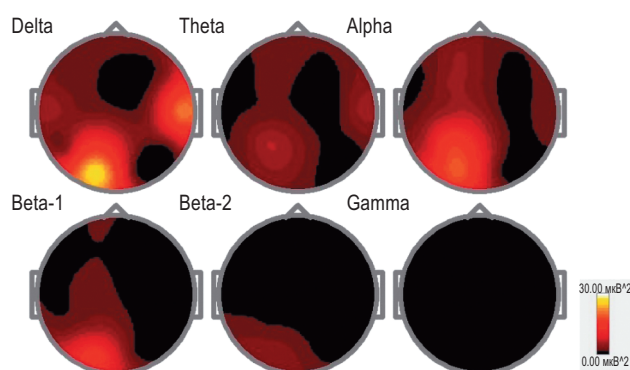


Рис. 3. Спектральная мощность электроэнцефалографии у испытуемого опытной группы А (мужчина, 55 лет). Видно распределение сигнала по всем диапазонам от дельта до бета-2 (фото из архива ПНД № 1, 2022–2023 гг.)

Fig. 3. Spectral power of the electroencephalogram in the subject of the experimental group A (male, 55 years old). The signal distribution is visible in all ranges from delta to beta-2 (photo from the archive of PND No. 1, 2022–2023)

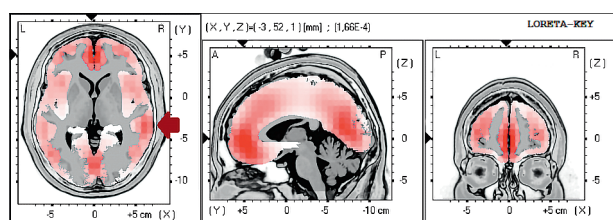


Рис. 4. Электромагнитная томограмма низкого разрешения LORETA — визуализация локальных изменения в правой височной области (тот же испытуемый, рис. 3) (фото из архива ПНД № 1, 2022–2023 гг.)

Fig. 4. Low-resolution electromagnetic tomography of the LORETA — visualization of local changes in the right temporal region (the same subject, Fig. 3) (photo from the archive of PND No. 1, 2022–2023)

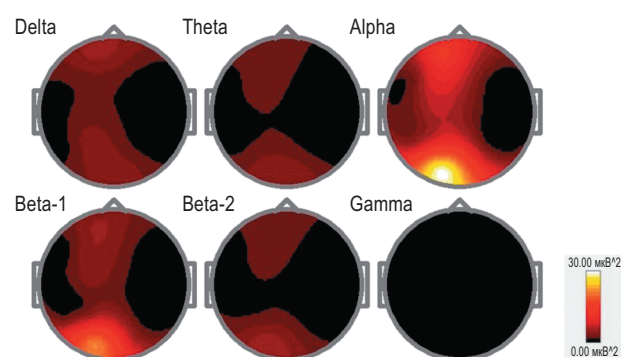


Рис. 5. Распределение спектральной мощности у пациента группы А (женщина, 38 лет). Отмечается формирование двух акцентов в бета-1- и альфа-диапазонах (фото из архива ПНД № 1, 2022–2023 гг.)

Fig. 5. Spectral power distribution in a patient, group A (female, 38 years old). Two accents in the beta-1 and alpha bands are noted (photo from the archive of PND No. 1, 2022–2023)

Стоит отметить, что визуальная оценка относит подобные ЭЭГ к типу низкоамплитудной полиморфной активности.

Третий вариант ЭЭГ в группе пациентов (около 20%) характерен для широкого круга психосоматических пациентов, поэтому расценивается как низко-специфичный. Этот вариант отличается смещением спектральной мощности в бета-1- и бета-2-диапазонах с образованием двух «центров активности» — в альфа- и бета-областях (рис. 5). Визуально такие варианты ЭЭГ оценивают как высокочастотные с заметной доминантой бета-1-диапазона и фрагментарным слабо выраженным альфа-присутствием. В заключении специалисты часто используют фразу «плоская ЭЭГ».

В табл. 1 представлены обобщенные данные о спектральной мощности (мкВ) в изучаемых диапазонах. Выделены ячейки, демонстрирующие акцент спектральной мощности в правой височной области.

Среди системных результатов обращает на себя внимание значительное расхождение спектральной мощности ЭЭГ между пациентами и здоровыми испытуемыми в отношении колебаний в медленных диапазонах — дельта- и тета-ритмов. При снижении амплитуды этих ритмов у пациентов их спектральная выраженность значительно выше. Обращает на себя внимание некоторое преобладание в правых височных точках регистрации ЭЭГ. Спектральная мощность альфа-ритма ЭЭГ у здоровых людей выше, чем у пациентов. Однако существенные различия регистрируют только в лобной и затылочной областях. После определения спектральной мощности ЭЭГ был проведен анализ когерентности, направленный на сравнение межполушарных или внутриполушарных взаимодействий. У здоровых испытуемых (группа В) стабильно наблюдаются высокие коэффициенты корреляции как между полушариями (в парах Fp1–Fp2, C3–C4, F7–F8, T3–T4, T5–T6, P3–P4, O1–O2), так и внутри полушарий (в парах Fp1–T3, Fp1–C3, Fp2–C4, Fp2–T4, T3–O1, C3–O1, T4–O2, C4–O2) (рис. 6).

В контрольной группе альфа-индекс корреляции демонстрирует устойчивость на протяжении 10-секундного отрезка ЭЭГ, выбранного для анализа. У 90% обследуемых данной группы коэффициенты корреляции в альфа-ритме превышали 0,6. В отличие от этого, у пациентов наблюдается разнородная картина ЭЭГ. Стабильные показатели с коэффициентом выше 0,6 по всем исследованным меж- и внутриполушарным связям зафиксированы лишь у 25% участников, что статистически значимо отличается от группы контроля ($p < 0,05$). В большинстве остальных случаев отмечается ослабление взаимодействия между отдельными парами отведений, преимущественно в височных областях (Т3 и/или Т4).



Таблица 1

Спектральная мощность электроэнцефалографии (мкВ)
в дельта-, тета- и альфа-диапазонах

Table 1

Electroencephalography spectral power (μV) in delta, theta, and alpha bands

ЭЭГ-от- ведение EEG- Ableitung	Опытная группа (A) An experienced group (A)			Контрольная группа (B) The control group (B)		
	дельта delta	тета theta	альфа alpha	дельта delta	тета theta	альфа alpha
Fp1	5±1,2**	10±4,2**	12±4,5**	0,2±0,1	5±2,2	21±7,8
Fp2	6±2,1**	11±4,6**	17±6,4	0,3±0,1	5±2,3	19±7,5
F3	5±2,2**	9±3,9**	16±5,4	0,1±0,1	4±1,9	17±6,8
F4	4±1,9**	10±4,1**	17±6,5	0,2±0,1	3±1,6	19±7,6
F7	5±2,3**	11±4,5**	15±5,0	0,3±0,1	3±1,7	16±6,5
F8	4±1,7**	8±3,8*	19±7,9	0,3±0,1	4±1,8	22±8,1
C3	2±1,4*	10±4,1**	11±3,9	0,3±0,1	3±1,6	12±4,7
C4	1±0,6*	9±3,7**	10±3,6	0,2±0,1	3±1,6	10±4,4
T3	3±1,6**	11±4,3**	16±5,6	0,3±0,1	2±1,4	17±6,7
T4	6±4,5**	15±5,9**	14±4,8	0,4±0,1	3±1,5	15±4,3
T5	3±1,7**	10±4,5**	18±7,6	0,3±0,1	3±1,6	20±7,5
T6	7±5,6**	14±5,7**	16±5,4	0,2±0,1	2±1,4	18±6,9
P3	4±1,9**	9±3,8**	19±7,8*	0,4±0,2	3±1,6	25±10
P4	4±1,9**	10±4,1**	20±8,1	0,3±0,1	3±1,5	22±9,5
O1	6±4,3**	11±4,4**	22±8,8**	0,2±0,1	4±1,8	35±11,3
O2	6±4,5**	10±4,2*	24±10,1**	0,3±0,1	5±2,0	32±11,1

Достоверность * р <0,05; **р <0,01.
Reliability * р <0.05; **р <0.01.
Таблица составлена авторами
The table is prepared by the authors.

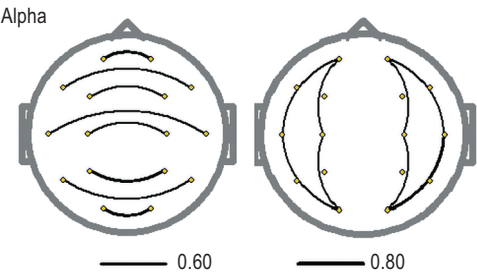


Рис. 6. Соотношение межполушарного и внутриполушарного взаимодействия между точками в соответствии с системой 10/20 в альфа-диапазоне в исследуемой контрольной группе (электроэнцефалограмма женщины, 35 лет) (фото из архива ПНД № 1, 2022–2023 гг.)
Fig. 6. The ratio of interhemispheric and intrahemispheric interaction between points according to the 10/20 system in the alpha band in the studied control group (female electroencephalogram, 35 years old) (photo from the archive of PND No. 1, 2022–2023)

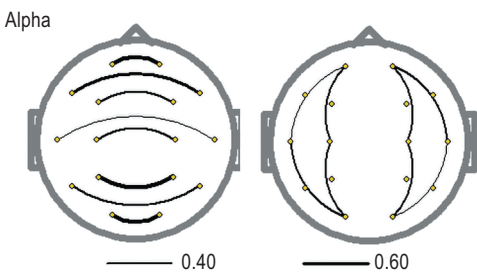


Рис. 7. Соотношение межполушарного и внутриполушарного взаимодействия между отведениями в соответствии с системой 10/20 в альфа-диапазоне, пациент С. (электроэнцефалограмма мужчины, 50 лет) (фото из архива ПНД № 1, 2022–2023 гг.)
Fig. 7. Ratio of interhemispheric and intrahemispheric interaction between leads according to the 10/20 system in the alpha band, patient C. (male electroencephalogram, 50 years old) (photo from the archive of PND No. 1, 2022–2023)

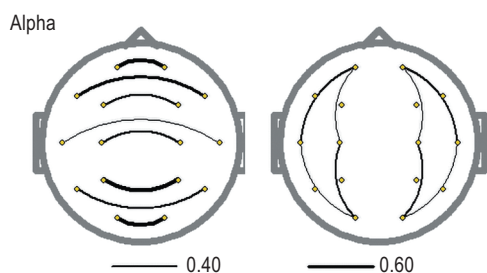


Рис. 8. Соотношение межполушарного и внутриполушарного взаимодействия между отведениями в соответствии с системой 10/20 в альфа-диапазоне. Группа А, электроэнцефалограмма женщины, 55 лет (фото из архива ПНД № 1, 2022–2023 гг.)

Fig. 8. The ratio of interhemispheric and intrahemispheric interaction between the leads according to the 10/20 system in the alpha range. Group A, electroencephalogram of a woman, 55 years old (photo from the archive of PND No. 1, 2022–2023)

В качестве примера когерентного анализа приводим случай пациента С., 50 лет, перенесшего COVID-19 средней степени тяжести, с госпитализацией и лечением в реанимации (рис. 7). Спустя полгода после выздоровления пациент жаловался на периодические мышечные боли, снижение работоспособности и плохой сон. При анализе ЭЭГ выявлено уменьшение коэффициента корреляции между полушариями в точках Т3–Т4, а также снижение внутриполушарных взаимодействий в отведениях Fp1–Т3 и Т4–О2.

Изучение показателей когерентности у больных из группы А демонстрирует повышенную устойчивость межполушарного взаимодействия на фоне разнообразных проявлений ослабления связей внутри каждого полушария, часто обладающих зеркальной симметрией. В качестве примера когерентного анализа на рис. 8 представлен случай пациентки К., 55 лет, перенесшей коронавирусную инфекцию средней тяжести около полугода назад, с первичной госпитализацией в общую больницу и последующим переводом в инфекционное отделение. Пациентка оценивает свое состояние как «выздоровление», вернулась к работе, однако жалуется на симптомы астеновегетативного характера, такие как упадок сил, повышенное потоотделение и, как следствие, снижение интереса к жизни. Уменьшение коэффициента когерентности между полушариями наблюдается исключительно в отведениях Т3–Т4, а ослабление внутриполушарных взаимодействий — в четырех парах отведений: Fp1–С3, Т3–О1, Fp2–С4 и Т4–О2.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ результатов ЭЭГ-исследования пациентов с COVID-19 и литературных данных за 2020–2025 гг. показывает, что основные данные ЭЭГ сосредото-

ны на снижении напряжения (амплитуды) биосигналов и различных вариантах полиморфной активности с преобладанием определенных ритмов ЭЭГ в локальных областях конвекситальной поверхности. Перенесенная коронавирусная инфекция у пациентов нейropsychиатрического профиля характеризуется на ЭЭГ рядом особенностей. Это снижение реактивности коры головного мозга, и в первую очередь изменение параметров альфа-ритма [40]. Отмечается значительное изменение картины спектральной мощности ЭЭГ за счет расширения доминирующих областей активности до частот, наиболее близких к альфа-диапазону, — это бета- и тета-диапазоны. Согласно когерентному анализу сохраняются высокие коэффициенты межполушарного взаимодействия и, наоборот, уменьшается количество внутриполушарных связей, часто затрагивающих височные отведения.

В качестве интересной, возможно, специфической детали анализа мы акцентируем внимание на характерном сдвиге спектральной мощности в медленноволновых диапазонах с фазой возбуждения в правой височной области. Низкоамплитудные ЭЭГ-паттерны регистрируют примерно у 10% нормальных здоровых людей [27, 41]. Они не проявляются генерацией доминирующего альфа-ритма, и отмечают сниженную реактивность, а бета- и альфа-частоты «смешаны». В серии исследований у 100% пациентов зафиксирована ЭЭГ-амплитуда не выше 20 мкВ с редкими проявлениями реактивности.

При регистрации стандартного сна на ЭЭГ показано, что при спонтанном засыпании сонные веретена отсутствовали или были слабо выражены. При контрольных исследованиях пациентов с благоприятным исходом COVID-19 выявлен задний доминантный тета-ритм, что исключало физиологическое отсутствие заднего альфа-ритма [15, 27, 29, 42–44].

Паттерны низкого напряжения на ЭЭГ или генерализованного подавления часто связаны с обширными корковыми и подкорковыми поражениями, такими как бескислородная энцефалопатия или тяжелая черепно-мозговая травма. Этот паттерн предшествовал неблагоприятному прогнозу (4 балла по шкале 11 качественной классификации изменений ЭЭГ) или необратимым процессам [45, 46]. Сообщалось о подобных процессах при ишемической энцефалопатии [47, 48], за исключением гипотиреоидной энцефалопатии, которую считают обратимой [27]. Было также описано низкое напряжение на ЭЭГ при диффузной дисфункции нейронов, вызванной переохлаждением или интоксикацией лекарственными препаратами, угнетающими центральную нервную систему [48].

При анализе литературы обнаружено большое количество разрозненных данных о чувствительности спектральной мощности как для приобретенных, так и для



врожденных состояний, которые патологически изменяют деятельность мозга. В частности, показано увеличение мощности медленных дельта- и тета-диапазонов у пациентов с острыми нарушениями мозгового кровообращения с явной положительной динамикой к 14-му дню при отсутствии локальных очагов медленной активности [44, 49]. Ряд авторов отмечают увеличение спектральной мощности в дельта-диапазоне у пациентов с сопутствующими органическими поражениями головного мозга [9, 44, 49]. В то же время значительные изменения спектральных характеристик ЭЭГ при шизофрении выявлены только при анализе реакции на звуковые или зрительные стимулы [42, 43].

Нельзя забывать, что мозг не может функционировать «изолированно» от остального организма. Изменения в режиме работы многих внутренних органов через психосоматические связи влияют на работу головного мозга, что означает изменения спектральной мощности ЭЭГ. Например, увеличение спектральной мощности в бета-1- и альфа-диапазонах описано при различных эндокринных патологиях [27]. В ряде статей, посвященных ЭЭГ и COVID-19, упоминается фоновый стресс от физической активности [50–52]. Некоторые авторы обнаруживают низкую амплитуду ЭЭГ-колебаний, но объясняют ее метаболическими или ишемическими изменениями.

Одна из проблем может заключаться в том, что ЭЭГ-исследования проводят по методологии, отличной от стандартной, — с использованием менее 10 электродов вместо 21 (для снижения риска заражения COVID). Согласно принятым в настоящее время нормальным значениям амплитуды, а также критериям Американского общества нейрофизиологов для стандартизации терминологии ЭЭГ, в реанимации используют 21-электродные ЭЭГ-шлемы, которые считают «золотым стандартом». Известно, что расстояние между электродами влияет на амплитуду колебаний, поэтому записи с небольшим количеством электродов удваивают расстояние между электродами и получают более высокие амплитуды, в связи с чем они должны иметь свои стандартные значения [37, 53]. Однако эти соображения более характерны для биполярной регистрации, а не для монополярной [54].

Неспецифические изменения ЭЭГ также описаны у пациентов с COVID-19, которые отличаются от таковых при других инфекционных или метаболических энцефалопатиях. В качестве отличительного признака зафиксировано снижение спектральной мощности, напоминающее тяжелые энцефалопатические состояния, связанные с плохим прогнозом. Аналогичная картина наблюдалась как в отделениях интенсивной терапии, так и в стандартных палатах, а также у пациентов с благоприятным развитием или прогрессирующим ухудшением состояния. В то же время у пациентов с благо-

приятным исходом эти изменения имели тенденцию к нормализации ЭЭГ. Основываясь на этих результатах ЭЭГ, метаболический/гипоксический механизм представляется маловероятным. Низкая амплитуда ЭЭГ, возможно, вызванная десинхронизацией, может объяснить минимальную распространенность эпилептической активности, описанную у пациентов с COVID-19 [28].

Таким образом, ЭЭГ — важный инструмент в лечении и диагностике пациентов с неврологическими проявлениями COVID-19, особенно с энцефалопатией, судорожными припадками и эпилептическим статусом. Нарушения, если они присутствуют, включают замедление, периодические разряды, эпилептиформные разряды, судороги и эпилептический статус, что указывает на локализованную дисфункцию, неспецифическую энцефалопатию и возбудимость коры головного мозга при этом состоянии. Степень аномалий ЭЭГ зависит от диагноза COVID-19, продолжительности наблюдения, ранее существовавших неврологических заболеваний, таких как эпилепсия, и тяжести заболевания. Аномалии ЭЭГ, поражающие лобные доли, по-видимому, распространены у пациентов с энцефалопатией, ассоциированной с COVID-19, и могут быть предложены в качестве потенциального биомаркера при условии их постоянной регистрации.

ВЫВОДЫ

1. Визуализация ЭЭГ позволяет разделить последствия COVID-19 на три группы. У большей части обследуемых (62%) ЭЭГ демонстрирует равномерное распределение биоэлектрической активности по всем исследуемым частотным диапазонам, от дельта- до бета-2-волн. В подобных ситуациях четкое выделение доминирующей частоты затруднительно. Данное явление можно интерпретировать как вариант полиморфной низкочастотной активности.

2. ЭЭГ второй группы характеризуются полиморфной низкочастотной активностью с выраженными дельта- и тета-ритмами.

3. Третью группу составили ЭЭГ с преобладанием высокочастотного бета-1-диапазона и минимальным присутствием альфа-ритма, которую определяют как «плоскую ЭЭГ».

4. Отмечается формирование очаговых изменений медленноволнового характера с характерной локализацией в правой височной области у 20% пациентов.

5. В контрольной группе ЭЭГ альфа-диапазон демонстрирует устойчивые корреляционные показатели, где у подавляющего большинства (90%) участников коэффициенты корреляции превышали 0,6. В отличие от этого, у пациентов наблюдается разнородная картина: лишь у четверти (25%) испытуемых зафиксированы стабильно высокие значения (более 0,6) по всем исследованным связям, как между, так и внутри полушарий.



При анализе коэффициентов когерентности у пациентов выявлена противоположная тенденция: повышенная стабильность межполушарных связей и вариативное ослабление внутриполушарных взаимодействий, часто имеющее «зеркальный» характер.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Н.Ю. Кипятков — сбор материала, написание исходного текста; С.А. Лытаев — разработка концепции исследования, научное и техническое редактирование; Н.В. Скребцова — анализ полученных результатов, выполнение статистического анализа; В.В. Гайворонская — анализ полученных результатов, подбор литературных источников; К.А. Бельская — подбор литературных источников, выполнение статистического анализа.

Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на публикацию медицинских данных.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. N.Yu. Kipyatkov — collection of materials, writing the original text; S.A. Lytaev — development of the research concept, scientific and technical editing; N.V. Skrebtsova — analysis of the obtained results, performing statistical analysis; V.V. Gaivoronskaia — analysis of the obtained results, selection of literary sources; K.A. Belskaya — selection of literary sources, performing statistical analysis.

All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patient for publication of relevant medical information within the manuscript.

ЛИТЕРАТУРА

- De Stefano P., Nencha U., De Stefano L. et al. Focal EEG changes indicating critical illness associated cerebral microbleeds in a Covid-19 patient. *Clin Neurophysiol Pract.* 2020;5:125–129. <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2020.05.004>.
- Hameed S., Saleem S., Sajjad A., Fahim Q., Wasay M., Kanwar D. Spectrum of EEG Abnormalities in COVID-19 Patients. *J Clin Neurophysiol.* 2024;41(3):245–250. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000964>.
- Manganotti P., Iscra K., Furlanis G., Michelutti M., Miladinović A. et al. Mapping brain changes in post-COVID-19 cognitive decline via FDG PET hypometabolism and EEG slowing. *Sci Rep.* 2025;15(1):23141. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-04815-6>.
- Nagy B., Protzner A.B., Czigler B., Gaál Z.A. Resting-state neural dynamics changes in older adults with post-COVID syndrome and the modulatory effect of cognitive training and sex. *Gero-science.* 2025;47(1):1277–1301. <https://doi.org/10.1007/s11357-024-01324-8>.
- Sun Y., Sun J., Chen X., Wang Y., Gao X. EEG signatures of cognitive decline after mild SARS-CoV-2 infection: an age-dependent study. *BMC Med.* 2024;22(1):257. <https://doi.org/10.1186/s12916-024-03481-1>.
- Косенкова Т.В., Тимченко В.Н., Новикова В.П. и др. Коронавирусная инфекция и COVID-19 у детей. Часть 2. Клинические особенности COVID-19 у детей: легочные и внелегочные проявления, осложнения, в том числе мультисистемный воспалительный синдром. *Children's Medicine of the North-West.* 2025;13(1):16–38. <https://doi.org/10.56871/CmNW.2025.54.93.002>. EDN: SGJZTO.
- Novikova V.P. Gastrointestinal manifestations of novel coronavirus infection. Review and meta-analysis. *University Therapeutic Journal.* 2022;4(4):5–15. <https://doi.org/10.56871/9141.2022.38.30.001>. EDN: PQPNNC.
- Flamand M., Perron A., Buron Y., Szurhaj W. Pay more attention to EEG in COVID-19 pandemic. *Clin Neurophysiol.* 2020;131(8):2062–2064. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.05.011>.
- Lytaev S. PET-Neuroimaging and Neuropsychological Study for Early Cognitive Impairment in Parkinson's Disease. In: Rojas I., Valenzuela O., Rojas F., Herrera L.J., Ortuño F. (eds) *Bioinformatics and Biomedical Engineering. IWBIO 2022. Lecture Notes in Computer Science* 13346. Springer, Cham; 2022. P. 143–153.
- Huang C., Wang Y., Li X. et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet.* 2020;395(10223):497–506. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5).
- Lytaev S.A., Kipyatkov N.Yu., Navoenko T. Quantitative EEG Findings in Outpatients with Psychosomatic Manifestations After COVID-19. In: *Bioinformatics and Biomedical Engineering: Conference proceedings, Gran Canaria, Spain, 12–14 June 2023. Vol. 13919.* Springer Cham: Springer Cham; 2023. P. 560–572. https://doi.org/10.1007/978-3-031-34953-9_43. EDN: BRDXPR.
- Mao L., Jin H., Wang M. et al. Neurologic manifestations of hospitalized patients with Coronavirus disease 2019 in Wuhan, China. *JAMA Neurol.* 2020;77(6):683–690. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2020.1127>.
- Pellinen J., Carroll E., Friedman D. et al. Continuous EEG findings in patients with COVID-19 infection admitted to a New York



- academic hospital system. *Epilepsia*. 2020;61(10):2097–2105. <https://doi.org/10.1111/epi.16667>.
14. Wu Y., Xu, X., Chen Z. et al. Nervous system involvement after infection with COVID19 and other coronaviruses. *Brain Behav Immun*. 2020;87:18–22. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2020.03.031>.
15. Asadi-Pooya A.A., Simani L. Central nervous system manifestations of COVID-19: a systematic review. *J Neurol Sci*. 2020;413:116832. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2020.116832>.
16. Galanopoulou A.S., Ferastraoaru V., Correa D.J. et al. EEG findings in acutely ill patients investigated for SARS-CoV-2/ COVID-19: a small case series preliminary report. *Epilepsia Open*. 2020;5(2):314–324. <https://doi.org/10.1002/epi4.12399>.
17. Louis S., Dhawan A., Newey C. et al. Continuous electroencephalography characteristics and acute symptomatic seizures in COVID19 patients. *Clin Neurophysiol*. 2020;131(11):2651–2656. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.08.003>.
18. Paterson R.W., Brown R.L., Benjamin L. et al. The emerging spectrum of COVID-19 neurology: clinical, radiological and laboratory findings. *Brain*. 2020;143(10):3104–3120. <https://doi.org/10.1093/brain/awaa240>.
19. Campanella S., Arian K., Babiloni C. et al. Special report on the impact of the COVID19 pandemic on clinical EEG and research and consensus recommendations for the safe use of EEG. *Clin EEG Neurosci*. 2021;52(1):3–28. <https://doi.org/10.1177/1550059420954054>.
20. Petrescu A.-M., Taussig D., Bouilleret V. Electroencephalogram (EEG) in COVID-19: a systematic retrospective study. *Neurophysiol Clin*. 2020;50(3):155–165. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2020.06.001>.
21. Clemente L., La Rocca M., Quaranta N., Iannuzzi L. et al. Prefrontal dysfunction in post-COVID-19 hyposmia: an EEG/fNIRS study. *Front Hum Neurosci*. 2023;17:1240831. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1240831>.
22. Furlan G., Buoite Stella A., Biaduzzini F., Bellavita G., Frezza N.A. et al. Cognitive deficit in post-acute COVID-19: an opportunity for EEG evaluation? *Neurol Sci*. 2023;44(5):1491–1498. <https://doi.org/10.1007/s10072-023-06615-0>.
23. Yang Y., Yu T., Yang J., Luo J., Liu X. et al. Clinical manifestations and EEG findings in children infected with COVID-19 and exhibiting neurological symptoms. *BMC Pediatr*. 2024;24(1):49. <https://doi.org/10.1186/s12887-023-04496-y>.
24. Babiloni C., Gentilini Cacciola E., Tucci F., Vassalini P., Chilovi A. et al. Resting-state EEG rhythms are abnormal in post COVID-19 patients with brain fog without cognitive and affective disorders. *Clin Neurophysiol*. 2024;161:159–172. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2024.02.034>.
25. Chang B.A., Cassim T.Z., Mittel A.M., Brambrink A.M., Garcia P.S. Frontal Electroencephalography Findings in Critically Ill COVID-19 Patients. *J Neurosurg Anesthesiol*. 2023;35(3):322–326. <https://doi.org/10.1097/ANA.0000000000000837>.
26. Yao Y., Liu Y., Chang Y., Geng Z., Liu X. et al. Study on brain damage patterns of COVID-19 patients based on EEG signals. *Front Hum Neurosci*. 2023;17:1280362. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1280362>.
27. Antony A.R., Haneef Z. Systematic review of EEG findings in 617 patients diagnosed with COVID-19. *Seizure*. 2020;83:234–241. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2020.10.014>.
28. Sáez-Landete I., Gómez-Domínguez A., Estrella-León B. et al. Retrospective Analysis of EEG in Patients With COVID-19: EEG Recording in Acute and Follow-up Phases. *Clin EEG Neurosci*. 2022;53(3):215–228. <https://doi.org/10.1177/15500594211035923>.
29. Canham L.J.W., Staniaszek L.E., Mortimer A.M. et al. Electroencephalographic (EEG) features of encephalopathy in the setting of Covid-19: a case series. *Clin Neurophysiol Pract*. 2020;5:199–205. <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2020.06.001>.
30. Chougar L., Shor N., Weiss N. et al. CoCo Neurosciences Study Group. Retrospective Observational Study of Brain MRI Findings in Patients with Acute SARS-CoV-2 Infection and Neurologic Manifestations. *Radiology*. 2020;297(3):e313–e323. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020202422>.
31. DosSantos M.F., Devalle S., Aran V. et al. Neuromechanisms of SARS-CoV-2: a review. *Front Neuroanat*. 2020;14:37. <https://doi.org/10.3389/fnana.2020.00037>.
32. Balloy G., Leclair-Visonneau L., Péréon Y. et al. Nonlesional status epilepticus in a patient with coronavirus disease 2019. *Clin Neurophysiol*. 2020;131(8):2059–2061. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.05.005>.
33. Thompson R. Pandemic potential of 2019-nCoV. *Lancet Infect Dis*. 2020;20(3):280. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30068-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30068-2).
34. Franceschi A.M., Ahmed O., Giliberto L., Castillo M. Hemorrhagic posterior reversible encephalopathy syndrome as a manifestation of COVID-19 infection. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2020;41(7):1173–1176. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A6595>.
35. Leitinger M., Beniczky S., Rohrer A. et al. Salzburg consensus criteria for non-convulsive status epilepticus — approach to clinical application. *Epilepsy Behav*. 2015;49:158–163. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2015.05.007>.
36. Vespignani H., Colas D., Lavin B.S. et al. Report on electroencephalographic findings in critically ill patients with COVID-19. *Ann Neurol*. 2020;88(3):626–630. <https://doi.org/10.1002/ana.25814>.
37. Tjepkema-Cloostermans M.C., Hofmeijer J., Hom H.W. et al. Predicting outcome in postanoxic coma: are ten EEG electrodes enough? *J Clin Neurophysiol*. 2017;34(3):207–212. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000337>.
38. Kremer S., Lersy F., de Sèze J. et al. Brain MRI Findings in Severe COVID-19: A Retrospective Observational Study. *Radiology*. 2020;297(2):e242–e251. <https://doi.org/10.1097/10.1148/radiol.2020202222>.
39. Lambrecq V., Hanin A., Munoz-Musat E. et al. Cohort COVID-19 Neurosciences (CoCo Neurosciences) Study Group. Association of Clinical, Biological, and Brain Magnetic Resonance Imaging Findings with Electroencephalographic Findings for Patients with COVID. *JAMA Netw Open*. 2021;4(3):e211489. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.1489>.
40. Кипятков Н.Ю., Скребцова Н.В., Лытаев С.А., Гайворонская В.В. Частотная вариативность колебаний альфа-диапазона на электроэнцефалограмме здоровых людей.



- Российские биомедицинские исследования. 2025;10(3):16–26. <https://doi.org/10.56871/RBR.2025.52.46.002>
41. Pasini E., Bisulli F., Volpi L. et al. EEG findings in COVID-19 related encephalopathy. *Clin Neurophysiol.* 2020;131(9):2265–2267. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.07.003>.
 42. Бельская К.А., Лытаев С.А. Нейропсихологический анализ когнитивного дефицита при шизофрении. *Физиология человека.* 2022. Т. 48, № 1. С. 46–56. <https://doi.org/10.31857/S0131164622010027>. EDN: AQGGCP.
 43. Lytaev S.A., Belskaya K.A. Integration and Disintegration of Auditory Images Perception. *Lecture Notes in Artificial Intelligence.* 2015;9183:470–480. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20816-9_45. EDN: VALTNF.
 44. Lytaev S. Modern Neurophysiological Research of the Human Brain in Clinic and Psychophysiology. *Lecture Notes in Computer Science.* 2021;12940:231–241.
 45. Amodio P., Marchetti P., Del Piccolo F. et al. Spectral versus visual EEG analysis in mild hepatic encephalopathy. *Clin Neurophysiol.* 1999;110(8):1334–1344. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(99\)00076-0](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(99)00076-0).
 46. Kaplan P.W. The EEG in metabolic encephalopathy and coma. *J Clin Neurophysiol.* 2004;21(5):307–318.
 47. Juan E., Kaplan P.W., Oddo M., Rossetti A.O. EEG as an indicator of cerebral functioning in postanoxic coma. *J Clin Neurophysiol.* 2015;32(6):465–471. <https://doi.org/10.1097/WNP.000000000000199>.
 48. Kaplan P.W., Rossetti A.O. EEG patterns and imaging correlations in encephalopathy: encephalopathy part II. *J Clin Neurophysiol.* 2011;28(3):233–251. <https://doi.org/10.1097/WNP.0b013e31821c33a0>.
 49. Lytaev S. Modern Human Brain Neuroimaging Research: Analytical Assessment and Neurophysiological Mechanisms. HCI International 2022. *Communications in Computer and Information Science.* 2022;1581:179–185. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06388-6_24. EDN: YLEPHW.
 50. Koutroumanidis M., Gratwicke J., Sharma S. et al. Alpha coma EEG pattern in patients with severe COVID-19 related encephalopathy. *Clin Neurophysiol.* 2021;132(1):218–225. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.09.008>.
 51. Pastor J., Vega-Zelaya L., Abad E.M. Specific EEG encephalopathy pattern in SARS-CoV-2 patients. *J Clin Med.* 2020;9(5):1545. <https://doi.org/10.3390/jcm9051545>.
 52. Skorin I., Carrillo R., Perez C.P. et al. EEG findings and clinical prognostic factors associated with mortality in a prospective cohort of inpatients with COVID-19. *Seizure.* 2020;83:1–4. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2020.10.007>.
 53. Александров М.В., Лытаев С.А., Иванов Л.Б., Трошина Е.М. Стандартная ЭЭГ и ЭЭГ-мониторинг сна: минимальные требования к технике и методике регистрации. Рекомендации Российской ассоциации специалистов функциональной диагностики (РАСФД). *Медицинский алфавит.* 2025;(12):18–26. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-12-18-26>.
 54. Кипятков Н.Ю., Лытаев С.А., Бельская К.А. и др. Основы регистрации и анализа ЭЭГ у детей и взрослых. СПб.: Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский ун-т, 2025. 28 с. EDN: QCUUNE.

REFERENCES

1. De Stefano P., Nenchu U., De Stefano L. et al. Focal EEG changes indicating critical illness associated cerebral microbleeds in a Covid-19 patient. *Clin Neurophysiol Pract.* 2020;5:125–129. <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2020.05.004>.
2. Hameed S., Saleem S., Sajjad A., Fahim Q., Wasay M., Kanwar D. Spectrum of EEG Abnormalities in COVID-19 Patients. *J Clin Neurophysiol.* 2024;41(3):245–250. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000964>.
3. Manganotti P., Iskra K., Furlanis G., Michelutti M., Miladinović A. et al. Mapping brain changes in post-COVID-19 cognitive decline via FDG PET hypometabolism and EEG slowing. *Sci Rep.* 2025;15(1):23141. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-04815-6>.
4. Nagy B., Protzner A.B., Czigler B., Gaál Z.A. Resting-state neural dynamics changes in older adults with post-COVID syndrome and the modulatory effect of cognitive training and sex. *Geroscience.* 2025;47(1):1277–1301. <https://doi.org/10.1007/s11357-024-01324-8>.
5. Sun Y., Sun J., Chen X., Wang Y., Gao X. EEG signatures of cognitive decline after mild SARS-CoV-2 infection: an age-dependent study. *BMC Med.* 2024;22(1):257. <https://doi.org/10.1186/s12916-024-03481-1>.
6. Kosenkova T.V., Timchenko V.N., Novikova V.P. et al. Coronavirus infection and COVID-19 in children. Part 2. Clinical features of COVID-19 in children: pulmonary and extrapulmonary manifestations, complications, including multisystem inflammatory syndrome. *Children's Medicine of the North-West.* 2025;3(1):16–38. (In Russ.). <https://doi.org/10.56871/CmN-W.2025.54.93.002>. EDN: SGJZTO.
7. Novikova V.P. Gastrointestinal manifestations of novel coronavirus infection. Review and meta-analysis. *University Therapeutic Journal.* 2022;4(4):5–15. <https://doi.org/10.56871/9141.2022.38.30.001>. EDN: PQPNNC.
8. Flamand M., Perron A., Buron Y., Szurhaj W. Pay more attention to EEG in COVID-19 pandemic. *Clin Neurophysiol.* 2020;131(8):2062–2064. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.05.011>.
9. Lytaev S. PET-Neuroimaging and Neuropsychological Study for Early Cognitive Impairment in Parkinson's Disease. In: Rojas I., Valenzuela O., Rojas F., Herrera L.J., Ortuño F. (eds) *Bioinformatics and Biomedical Engineering. IWBBIO 2022. Lecture Notes in Computer Science* 13346. Springer, Cham; 2022. P. 143–153.
10. Huang C., Wang Y., Li X. et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet.* 2020;395(10223):497–506. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5).
11. Lytaev S.A., Kipyatkov N.Yu., Navoenko T. Quantitative EEG Findings in Outpatients with Psychosomatic Manifestations After COVID-19. In: *Bioinformatics and Biomedical Engineering: Conference proceedings, Gran Canaria, Spain, 12–14 June 2023. Vol. 13919.* Springer Cham: Springer Cham; 2023. P. 560–572. https://doi.org/10.1007/978-3-031-34953-9_43. EDN: BRDXPR.



12. Mao L., Jin H., Wang M. et al. Neurologic manifestations of hospitalized patients with Coronavirus disease 2019 in Wuhan, China. *JAMA Neurol.* 2020;77(6):683–690. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2020.1127>.
13. Pellinen J., Carroll E., Friedman D. et al. Continuous EEG findings in patients with COVID-19 infection admitted to a New York academic hospital system. *Epilepsia.* 2020;61(10):2097–2105. <https://doi.org/10.1111/epi.16667>.
14. Wu Y., Xu X., Chen Z. et al. Nervous system involvement after infection with COVID19 and other coronaviruses. *Brain Behav Immun.* 2020;87:18–22. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2020.03.031>.
15. Asadi-Pooya A.A., Simani L. Central nervous system manifestations of COVID-19: a systematic review. *J Neurol Sci.* 2020;413:116832. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2020.116832>.
16. Galanopoulou A.S., Ferastraoaru V., Correa D.J. et al. EEG findings in acutely ill patients investigated for SARS-CoV-2/ COVID-19: a small case series preliminary report. *Epilepsia Open.* 2020;5(2):314–324. <https://doi.org/10.1002/epi4.12399>.
17. Louis S., Dhawan A., Newey C. et al. Continuous electroencephalography characteristics and acute symptomatic seizures in COVID19 patients. *Clin Neurophysiol.* 2020;131(11):2651–2656. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.08.003>.
18. Paterson R.W., Brown R.L., Benjamin L. et al. The emerging spectrum of COVID-19 neurology: clinical, radiological and laboratory findings. *Brain.* 2020;143(10):3104–3120. <https://doi.org/10.1093/brain/awaa240>.
19. Campanella S., Arkan K., Babiloni C. et al. Special report on the impact of the COVID19 pandemic on clinical EEG and research and consensus recommendations for the safe use of EEG. *Clin EEG Neurosci.* 2021;52(1):3–28. <https://doi.org/10.1177/1550059420954054>.
20. Petrescu A.-M., Taussig D., Boullieret V. Electroencephalogram (EEG) in COVID-19: a systematic retrospective study. *Neurophysiol Clin.* 2020;50(3):155–165. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2020.06.001>.
21. Clemente L., La Rocca M., Quaranta N., Iannuzzi L., Vecchio E. et al. Prefrontal dysfunction in post-COVID-19 hyposmia: an EEG/fNIRS study. *Front Hum Neurosci.* 2023;17:1240831. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1240831>.
22. Furlan G., Buote Stella A., Biaduzzini F., Bellavita G., Frezza N.A. et al. Cognitive deficit in post-acute COVID-19: an opportunity for EEG evaluation? *Neurol Sci.* 2023;44(5):1491–1498. <https://doi.org/10.1007/s10072-023-06615-0>.
23. Yang Y., Yu T., Yang J., Luo J., Liu X. et al. Clinical manifestations and EEG findings in children infected with COVID-19 and exhibiting neurological symptoms. *BMC Pediatr.* 2024;24(1):49. <https://doi.org/10.1186/s12887-023-04496-y>.
24. Babiloni C., Gentilini Cacciola E., Tucci F., Vassalini P., Chilovi A. et al. Resting-state EEG rhythms are abnormal in post COVID-19 patients with brain fog without cognitive and affective disorders. *Clin Neurophysiol.* 2024;161:159–172. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2024.02.034>.
25. Chang B.A., Cassim T.Z., Mittel A.M., Brambrink A.M., García P.S. Frontal Electroencephalography Findings in Critically Ill COVID-19 Patients. *J Neurosurg Anesthesiol.* 2023;35(3):322–326. <https://doi.org/10.1097/ANA.0000000000000837>.
26. Yao Y., Liu Y., Chang Y., Geng Z., Liu X. et al. Study on brain damage patterns of COVID-19 patients based on EEG signals. *Front Hum Neurosci.* 2023;17:1280362. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1280362>.
27. Antony A.R., Haneef Z. Systematic review of EEG findings in 617 patients diagnosed with COVID-19. *Seizure.* 2020;83:234–241. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2020.10.014>.
28. Sáez-Landete I., Gómez-Domínguez A., Estrella-León B. et al. Retrospective Analysis of EEG in Patients With COVID-19: EEG Recording in Acute and Follow-up Phases. *Clin EEG Neurosci.* 2022;53(3):215–228. <https://doi.org/10.1177/15500594211035923>.
29. Canham L.J.W., Staniaszek L.E., Mortimer A.M. et al. Electroencephalographic (EEG) features of encephalopathy in the setting of Covid-19: a case series. *Clin Neurophysiol Pract.* 2020;5:199–205. <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2020.06.001>.
30. Chougar L., Shor N., Weiss N. et al. CoCo Neurosciences Study Group. Retrospective Observational Study of Brain MRI Findings in Patients with Acute SARS-CoV-2 Infection and Neurologic Manifestations. *Radiology.* 2020;297(3):e313–e323. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020202422>.
31. DosSantos M.F., Devalle S., Aran V. et al. Neuromechanisms of SARS-CoV-2: a review. *Front Neuroanat.* 2020;14:37. <https://doi.org/10.3389/fnana.2020.00037>.
32. Balloy G., Leclair-Visonneau L., Péréon Y. et al. Nonlesional status epilepticus in a patient with coronavirus disease 2019. *Clin Neurophysiol.* 2020;131(8):2059–2061. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.05.005>.
33. Thompson R. Pandemic potential of 2019-nCoV. *Lancet Infect Dis.* 2020;20(3):280. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30068-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30068-2).
34. Franceschi A.M., Ahmed O., Giliberto L., Castillo M. Hemorrhagic posterior reversible encephalopathy syndrome as a manifestation of COVID-19 infection. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2020;41(7):1173–1176. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A6595>.
35. Leitingner M., Beniczky S., Rohrer A. et al. Salzburg consensus criteria for non-convulsive status epilepticus — approach to clinical application. *Epilepsy Behav.* 2015;49:158–163. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2015.05.007>.
36. Vespignani H., Colas D., Lavin B.S. et al. Report on electroencephalographic findings in critically ill patients with COVID-19. *Ann Neurol.* 2020;88(3):626–630. <https://doi.org/10.1002/ana.25814>.
37. Tjepkema-Cloostermans M.C., Hofmeijer J., Hom H.W. et al. Predicting outcome in postanoxic coma: are ten EEG electrodes enough? *J Clin Neurophysiol.* 2017;34(3):207–212. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000337>.
38. Kremer S., Lersy F., de Sèze J. et al. Brain MRI Findings in Severe COVID-19: A Retrospective Observational Study. *Radiology.* 2020;297(2):e242–e251. <https://doi.org/10.1097/10.1148/radiol.2020202222>.
39. Lambrecq V., Hanin A., Munoz-Musat E. et al. Cohort COVID-19 Neurosciences (CoCo Neurosciences) Study Group. Association of Clinical, Biological, and Brain Magnetic Resonance Imaging Findings with Electroencephalographic Findings for Patients with COVID. *JAMA Netw Open.* 2021;4(3):e211489. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.1489>.



40. Kipyatkov N.Yu., Skrebtsova N.V., Lytaev S.A., Gaivoronskaia V.V. Frequency variation of alpha-band oscillations on the electroencephalogram of healthy subjects. *Russian Biomedical Research*. 2025;10(3):16–26. (In Russ.). <https://doi.org/10.56871/RBR.2025.52.46.002>.
41. Pasini E., Bisulli F., Volpi L. et al. EEG findings in COVID-19 related encephalopathy. *Clin Neurophysiol*. 2020;131(9):2265–2267. (In Russ.). <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.07.003>.
42. Belskaya K.A., Lytaev S.A. Neuropsychological Analysis of Cognitive Deficits in Schizophrenia. *Hum Physiol*. 2022;48(1):37–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0131164622010027>. EDN: AQGGCP.
43. Lytaev S.A., Belskaya K.A. Integration and Disintegration of Auditory Images Perception. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*. 2015;9183:470–480. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20816-9_45. EDN: VALTNF.
44. Lytaev S. Modern Neurophysiological Research of the Human Brain in Clinic and Psychophysiology. *Lecture Notes in Computer Science*. 2021;12940:231–241.
45. Amodio P., Marchetti P., Del Piccolo F. et al. Spectral versus visual EEG analysis in mild hepatic encephalopathy. *Clin Neurophysiol*. 1999;110(8):1334–1344. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(99\)00076-0](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(99)00076-0).
46. Kaplan P.W. The EEG in metabolic encephalopathy and coma. *J Clin Neurophysiol*. 2004;21(5):307–318. (In Russ.).
47. Juan E., Kaplan P.W., Oddo M., Rossetti A.O. EEG as an indicator of cerebral functioning in postanoxic coma. *J Clin Neurophysiol*. 2015;32(6):465–471. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000199>.
48. Kaplan P.W., Rossetti A.O. EEG patterns and imaging correlations in encephalopathy: encephalopathy part II. *J Clin Neurophysiol*. 2011;28(3):233–251. <https://doi.org/10.1097/WNP.0b013e31821c33a0>.
49. Lytaev S. Modern Human Brain Neuroimaging Research: Analytical Assessment and Neurophysiological Mechanisms. HCI International 2022. *Communications in Computer and Information Science Springer*. 2022;1581:179–185. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06388-6_24. EDN: YLEPHW.
50. Koutroumanidis M., Gratwicke J., Sharma S. et al. Alpha coma EEG pattern in patients with severe COVID-19 related encephalopathy. *Clin Neurophysiol*. 2021;132(1):218–225. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.09.008>.
51. Pastor J., Vega-Zelaya L., Abad E.M. Specific EEG encephalopathy pattern in SARSCoV-2 patients. *J Clin Med*. 2020;9(5):1545. <https://doi.org/10.3390/jcm9051545>.
52. Skorin I., Carrillo R., Perez C.P. et al. EEG findings and clinical prognostic factors associated with mortality in a prospective cohort of inpatients with COVID-19. *Seizure*. 2020;83:1–4. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2020.10.007>.
53. Aleksandrov M.V., Lytaev S.A., Ivanov L.B., Troshina E.M. Standard EEG and EEG sleep monitoring: minimum requirements for recording techniques and techniques. Recommendations of the Russian Association of Functional Diagnostics Specialists (RAFDS). *Medical Alphabet*. 2025;(12):18–26. (In Russ.). <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-12-18-26>.
54. Kipyatkov N.Yu., Lytaev S.A., Belskaya K.A. et al. The basics of EEG registration and analysis in children and adults: a study guide. Saint Petersburg: Saint Petersburg State Pediatric Medical University; 2025. 28 p. (In Russ.). EDN: QCUUNE.

Об авторах

* **Никита Юрьевич Кипятков** — к.м.н., доцент, кафедра нормальной физиологии. E-mail: fd@pnd1.spb.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3280-3679>; SPIN: 4059-0753

Сергей Александрович Лытаев — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой нормальной физиологии. E-mail: physiology@gpmu.org; <https://orcid.org/0000-0002-1291-0381>; SPIN: 5100-5552

Нина Валентиновна Скребцова — д.м.н., доцент, кафедра нормальной физиологии. E-mail: niskrebcova@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-5641-8571>; SPIN: 8472-6915

Виктория Витальевна Гайворонская — к.м.н., доцент, кафедра нормальной физиологии. E-mail: gaivorv1909@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6462-462X>; SPIN: 1204-1411

Ксения Алексеевна Бельская — к.м.н., доцент, кафедра нормальной физиологии. E-mail: belskaya.k.a@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9267-0639>; SPIN: 6513-7335

* Автор, ответственный за переписку.
Corresponding author.

Authors' info

* **Nikita Yu. Kipyatkov** — Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Normal Physiology. E-mail: fd@pnd1.spb.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3280-3679>; SPIN: 4059-0753

Sergey A. Lytaev — Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Normal Physiology. E-mail: physiology@gpmu.org; <https://orcid.org/0000-0002-1291-0381>; SPIN: 5100-5552

Nina V. Skrebtsova — Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Normal Physiology. E-mail: niskrebcova@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-5641-8571>; SPIN: 8472-6915

Victoria V. Gaivoronskaia — Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Normal Physiology. E-mail: gaivorv1909@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6462-462X>; SPIN: 1204-1411

Ksenia A. Belskaya — Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Normal Physiology. E-mail: belskaya.k.a@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9267-0639>; SPIN: 6513-7335