



Оригинальная статья



УДК 616.89-073.756.8+612.821.2+611.81+616.895.7/.8
<https://doi.org/10.56871/RBR.2026.30.89.002>

Отражение уровня сознания в психопатологии при мониторинге нейросетевых центров альфа-ритма электроэнцефалографии покоя

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

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

Для цитирования: Бельская К.А., Лытаев С.А., Скребцова Н.В., Гайворонская В.В., Кипятков Н.Ю. Отражение уровня сознания в психопатологии при мониторинге нейросетевых центров альфа-ритма электроэнцефалографии покоя. *Российские биомедицинские исследования*. 2026;11(2):16–32. <https://doi.org/10.56871/RBR.2026.30.89.002>.

Поступила: 24.12.2025

Одобрена: 11.03.2026

Принята к печати: 30.05.2026

Автор**для корреспонденции:**

Никита Юрьевич
Кипятков.

E-mail: fd@pnd1.spb.ru

Резюме. Введение. Сознание является высшей психической функцией, интегрирующей внимание, память, индивидуальный опыт, эмоции, все модальности восприятия и обработки информации. **Цель** данного исследования состояла в теоретическом обосновании функциональной связи альфа-регулирующей системы мозга с модуляцией сознательной активности и выявлении патологических электроэнцефалографических паттернов альфа-ритма, характеризующих снижение уровня сознания. **Материалы и методы.** Было обследовано 40 пациентов (основная группа) с текущей симптоматической шизофренией, связанной с нейрокогнитивными и депрессивными признаками, и 38 здоровых испытуемых (контрольная группа). Анализировали как неспецифические физические параметры альфа-волнового процесса — индекс, частоту и амплитуду, так и физиологические особенности альфа-колебаний — регулярность, авторитмичность (модуляция) и стабильность альфа-ритма электроэнцефалографии с использованием программ WinEEG, EEG Studio и Loreta-Key viewer. Были рассчитаны ряд показателей для альфа-ритма при шизофрении на основе когерентности в различных областях мозга, латентного периода десинхронизации, среднего количества вспышек и тонуса коры головного мозга. **Результаты.** При сравнении результатов анализа когерентности электроэнцефалографии между группами следует отметить значительные различия между уровнем интеграции в основной и контрольной группах. Нарушение когерентных процессов у пациентов с шизофренией генерализованное. В восьми межполушарных парах наблюдается либо значительное снижение уровня пространственной синхронизации ($p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$), либо указанное направление дезинтеграции мозга проявляется на уровне тенденции. Латентный период десинхронизации альфа-ритма при открытых глазах превышает нормативные значения в 2,3 раза ($p < 0,05$), а латентный период синхронизации основного ритма оказался в 1,6 раза больше нормативных значений ($p < 0,05$). Глубина синхронизации у больных шизофренией была в 1,22 раза меньше нормы. Совокупность полученных данных связана с изменениями функционального состояния восходящей ретикулярной активирующей системы мозга. У пациентов среднее количество вспышек превышало нормативные значения в 2,5 раза ($p < 0,04$), что указывает на увеличение степени пароксизмальности мозга и является объективным признаком дисфункции понтоталамических и гипоталамических структур. **Выводы.** На основе специфики изменений rs-альфа-ритма электроэнцефалографии можно оценить индивидуальный уровень сознания, а также возможную роль дезорганизации сознания в механизмах формирования симптомов шизофрении. Предложенная нами гипотеза о возможности электроэнцефалографической оценки уровня сознания на основе анализа основных параметров rs-альфа-ритма подтверждается.

Ключевые слова: функциональные блоки мозга, уровень активности сознания, нейрокогнитивный дефицит, параноидная шизофрения, электроэнцефалография покоя, сети покоя



Original article

<https://doi.org/10.56871/RBR.2026.30.89.002>

Reflection of the consciousness level in psychopathology by means of monitoring neural network centers of the resting electroencephalography alpha rhythm

Ksenia A. Belskaya, Sergey A. Lytayev, Nina V. Skrebtzova, Victoria V. Gayvoronskaya, Nikita Yu. Kipyatkov

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

For citation: Belskaya K.A., Lytayev S.A., Skrebtzova N.V., Gayvoronskaya V.V., Kipyatkov N.Yu. Reflection of the consciousness level in psychopathology by means of monitoring neural network centers of the resting electroencephalography alpha rhythm. *Russian Biomedical Research*. 2026;11(2):16–32. (In Russ.). <https://doi.org/10.56871/RBR.2026.30.89.002>.

Received: 24.12.2025

Revised: 11.03.2026

Accepted: 30.05.2026

Corresponding
author:

Nikita Yu. Kipyatkov.
E-mail: fd@pnd1.spb.ru

Abstract. Introduction. Consciousness is a higher mental function that integrates attention, memory, individual experience, emotions, and all modalities of perception and information processing. **The purpose** of this study was to provide a theoretical basis for the functional relationship between the alpha-regulating system of the brain and the modulation of conscious activity, as well as to identify pathological electroencephalographic patterns of alpha rhythm that characterize a decrease in the level of consciousness. **Materials and methods.** 40 patients (the main group) with current symptomatic schizophrenia associated with neurocognitive and depressive signs and 38 healthy subjects (the control group) were examined. Analyzed both non-specific physical parameters of the alpha-wave process — index, frequency and amplitude, as well as physiological features of alpha oscillations — regularity, autorhythmicity (modulation) and stability of the alpha rhythm of the electroencephalography using WinEEG, EEG Studio and Loreta-Key viewer programs. A number of indicators for the alpha rhythm in schizophrenia were calculated based on coherence in various brain regions, the latent period of desynchronization, the average number of flashes, and the tone of the cerebral cortex. **Results.** When comparing the results of electroencephalography coherence analysis between groups, significant differences were observed between the level of integration in the main and control groups. The disruption of coherent processes in patients with schizophrenia was generalized. In eight interhemispheric pairs, there was either a significant decrease in the level of spatial synchronization ($p < 0.05$; $p < 0.01$; $p < 0.001$) or a tendency towards brain disintegration. The latent period of alpha-rhythm desynchronization with open eyes exceeded the normal values by 2.3 times ($p < 0.05$), and the latent period of the main rhythm synchronization was 1.6 times higher than the normal values ($p < 0.05$). The depth of synchronization in patients with schizophrenia was 1.22 times lower than the normal value. The combination of these data is associated with changes in the functional state of the ascending reticular activating system of the brain. In patients, the average number of flashes exceeded the normal values by 2.5 times ($p < 0.04$), this indicates an increase in the degree of brain paroxysmal activity and is an objective sign of dysfunction in the pontothalamic and hypothalamic structures. **Conclusions.** Based on the specific changes in the rs-alpha rhythm of the electroencephalography, it is possible to assess the individual level of consciousness, as well as the possible role of disorganization of consciousness in the mechanisms of the formation of schizophrenia symptoms. Our hypothesis about the possibility of electroencephalographic assessment of the level of consciousness based on the analysis of the main parameters of the rs-alpha rhythm is confirmed.

Keywords: functional blocks of the brain, level of consciousness activity, neurocognitive deficit, paranoid schizophrenia, resting electroencephalography, resting networks

© 2026 by the authors

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



ВВЕДЕНИЕ

Исследования визуализации мозга предоставляют уникальные возможности для изучения процессов сознания. Даже известные методы часто открывают новые признаки. Хорошо известны результаты, полученные при регистрации когнитивного компонента потенциалов P_{300} , связанных с событиями (event-related potentials, ERPs). Результаты функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) и позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) показывают особенности функционирования структур мозга при реализации исполнительных функций [3–5].

Электроэнцефалография (ЭЭГ), ERPs, фМРТ и ПЭТ стали уникальными техническими средствами в исследовании сознания. Преимущество высокого временного разрешения ЭЭГ — это способность регистрировать нейронные электрические сигналы на уровне миллисекунд и фиксировать изменения нейронного разряда мозга на этапах распознавания, кодирования и осознания информации. фМРТ и ПЭТ обладают преимуществом пространственного разрешения и обеспечивают локализацию активности мозга во время обработки информации [6, 7]. Пространственные преимущества высокого разрешения фМРТ и ПЭТ обеспечивают локализацию функциональных областей мозга во время когнитивной обработки и позволяют регистрировать реакцию мозга через изменения насыщения крови кислородом и метаболизма веществ. При проведении исследований выявлены важные функциональные области мозга, такие как лобные доли, корковые срединные структуры и височная доля, при обработке информации, в научных работах подробно обсуждается смещение активности мозга при когнитивных нагрузках [3, 4]. Существует точка зрения, что ERPs играют промежуточную роль между временными возможностями ЭЭГ и пространственными возможностями ПЭТ и фМРТ, то есть ERPs отражают оба процесса в мозге [8, 9].

Исследования ЭЭГ/фМРТ и ЭЭГ/ПЭТ показали обратную зависимость между мощностью альфа-ритма и региональным метаболизмом, что наблюдалось в затылочной, теменной и сенсомоторной коре. Следовательно, в состоянии покоя с закрытыми глазами альфа-активность связана с региональной деактивацией и снижением метаболизма. Учитывая эти взаимосвязи, ожидается, что снижение префронтального метаболизма при шизофрении должно быть обусловлено увеличением мощности в альфа-частотном диапазоне в передних отделах мозга [1, 2, 43, 44].

Однако это наблюдается нечасто. В большей части литературы по ЭЭГ предполагается, что если какие-либо различия и существуют, то они обусловлены снижением мощности альфа-ритма при шизофрении по сравнению со здоровыми испытуемыми. Подтверж-

даются также данные о диффузном снижении мощности альфа-ритма как по сравнению с контролем, так и в группах с негативными симптомами и типом шизофрении [3, 10].

Имеются сведения о важности специфических ранних ответов и неспецифических поздних компонентов ERPs. Так, обработка информации уникальна на ранних и поздних стадиях опознания. Компоненты N_{170} и N_{250} вызванных потенциалов в раннем опознании отражают специфичность кодирования собственного лица, в то время как амплитуда и латентность потенциала P_{300} в позднем опознании были наиболее значимыми компонентами различия восприятия информации [11].

Существует множество подходов и определений в понимании природы сознания [11–13]. Однако новые вызовы и научные открытия вносят элемент неопределенности, который требует доказательств. На практике важна тема динамических сетевых взаимоотношений, возникающих при психоневрологической патологии с нарушенным сознанием [14, 15]. Многолетние исследования в нейронауках привели к определенному консенсусу, что сознание, как и многочисленные поведенческие формы, является сетевым феноменом, то есть функциональным продуктом нейронной сети [16, 17]. Такое поведение предполагает высокоуровневую интеграцию различных сенсорных каналов, синхронизацию двигательных паттернов и координацию их активности внутри обобщенных нейронных сетей, следовательно, накопление данных об их функционировании способствует формированию ряда проверяемых гипотез относительно нейронных основ когнитивных функций, памяти и мотивированного поведения.

В настоящее время изучение сознания происходит в трех основных направлениях: поиск нейронных коррелятов сознания (НКС), механизмов функционирования этих коррелятов и воспроизводимости выдвинутых гипотез [18]. Нейрофизиологические исследования в психопатологии играют двойную роль. С одной стороны, это решение клинико-диагностических и клинико-экспертных задач. С другой стороны, мозг в психопатологических условиях служит моделью для изучения нейронных сетей в этих условиях [19].

В целом считается, что нарушение мощности в альфа-диапазоне ЭЭГ при шизофрении имеет несколько источников. Наиболее вероятными причинами являются широко распространенное нарушение локальных корковых цепей и повреждение таламокортикальных цепей. Такие нарушения влияют на ЭЭГ передних отделов мозга в противоположных направлениях. В частности, таламокортикальная деафферентация префронтальной коры способствует врожденной корковой авторитетности, то есть увеличению мощности альфа-сигнала в (пре)фронтальных областях,



в то время как дефицит кортико-кортикальных цепей — глобальному снижению выраженности альфа-волн на ЭЭГ. Эти механизмы могут быть затронуты в различной степени при разных формах шизофрении и в зависимости от состава пациентов по-разному проявляться в изменениях мощности ЭЭГ [20].

Интересно, что у пациентов с шизофренией наблюдается значительно более низкая мощность альфа-ритма в состоянии покоя по сравнению со здоровыми испытуемыми, особенно в префронтальных и теменных областях. Альфа-колебания важны для обработки информации по нисходящему принципу в различных областях коры, что связывается с активацией восходящей ретикулярной системы мозга [14, 19]. Сообщается также о значительно более низкой мощности в альфа-диапазоне при шизофрении по сравнению со здоровым контролем во время состояния самореференции — когнитивного искажения, основанного на опыте субъекта [20].

Большинство исследований сетей покоя проводилось с использованием статических методов, то есть сети определялись по всей записи («стационарная» обработка) [11, 21]. Предположение, что связи между областями мозга статичны на протяжении всей записи в состоянии покоя, часто подвергалось критике. В частности, сообщалось [17], что состояние функциональных связей сетей, полученное в результате динамического анализа, сильно отличается от статической активности. На этой основе [22] был предложен термин *chronnectome* для описания динамических паттернов взаимодействия во временной последовательности между областями мозга. Переход активности между центрами позволяет изучать, как мозговые центры чередуются друг с другом с течением времени. Таким образом, центр рассматривается либо как периферийный, либо как соединительный узел. При этом одна и та же область мозга может играть роль как периферийного, так и соединительного узла на двух уровнях в разное время для одного и того же испытуемого в состоянии покоя [23, 24].

Альфа-регулирующая система мозга как динамическая сетевая нейронная структура участвует в регуляции мультимодального восприятия, семантической обработки информации и формировании энграмм памяти, а также в регуляции внимания и уровня бодрствования [13, 25].

Индивидуальная частота ЭЭГ альфа-ритма — важный интегральный показатель состояния мозга, отражающий высокоскоростные нейродинамические характеристики. При высокой альфа-частоте происходит более быстрое чередование фаз возбуждения и торможения и, соответственно, увеличивается скорость обработки информации и двигательных реакций. Изменчивость индивидуальной частоты аль-

фа-ритма в диапазоне частот 10,2–13,0 Гц отражает динамику кортикоталамического взаимодействия [25].

Увеличение частоты альфа-ритма ЭЭГ отражает готовность нейронных сетей к когнитивной деятельности и сопровождается субъективным ощущением повышенного уровня бодрствования, активности сознания и прилива энергии. В случае патологии мозга, ограничивающей индивидуальные когнитивные ресурсы, снижение частоты альфа-ритма коррелирует с уменьшением скорости когнитивных операций [26].

В последнее время для оценки нейронных сетей в психопатологии используют алгоритмы глубинного обучения (DL), такие как сверточные нейронные сети (CNN), рекуррентные нейронные сети (RNN) и трансформеры, которые демонстрируют эффективность в обработке сигналов ЭЭГ [3]. Кроме того, эти методы позволяют применять новые подходы для обработки сигналов ЭЭГ и классификации различных состояний нарушений сознания (DOC). Однако одним из ограничений данных подходов является общее правило для обучения эффективной модели DL с отличной обобщающей способностью. Большой набор данных для обучения обычно приводит к лучшей производительности модели, а наборы данных, полученные из естественных сценариев в клинической практике, как правило, характеризуются малыми выборками, что создает значительные трудности для моделей DL. Как получить надежную и эффективную модель DL на основе ограниченного объема данных для поддержки точной классификации состояний DOC и улучшения нейрореабилитационного лечения — это тема, достойная дальнейшего исследования [27, 28].

Итак, сознание характеризует состояние когнитивных и других функциональных систем мозга, обеспечивающих адаптивное поведение человека. В связи с этим существует необходимость в разработке методов оценки уровня активности сознания как интегрального показателя функционального состояния мозга. На этом основании настоящее исследование было направлено на теоретическое обоснование связи между модуляцией сознания и альфа-регулирующей системой мозга для определения критериев ЭЭГ покоя (rs-ЭЭГ) и оценки уровня сознания на основе аномальных паттернов альфа-ритма у пациентов, страдающих шизофренией, ассоциированной с нейрокогнитивным дефицитом.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Теоретически обосновать функциональную связь альфа-регулирующей системы мозга с модуляцией сознательной активности и выявить патологические ЭЭГ-паттерны альфа-ритма, характеризующие снижение уровня сознания.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Было обследовано 78 человек, включая 40 амбулаторных пациентов (основная группа, средний возраст $37,7 \pm 3,3$ года, 26 женщин и 14 мужчин) с диагнозом «текущая симптоматическая шизофрения», и 38 здоровых испытуемых (контрольная группа, средний возраст $38,6 \pm 3,7$ года, 23 женщины и 15 мужчин). Амбулаторные пациенты проходили плановое экспертное обследование для получения социальной

поддержки по единому протоколу в Санкт-Петербургском психоневрологическом диспансере № 1. Они характеризовались, главным образом, депрессивными симптомами и не имели активной психической продукции. Также в период исследования антипсихотические препараты были отменены по показаниям.

rs-ЭЭГ регистрировали с 16 монополярных электродов с помощью 21-канального аппаратно-программного комплекса с полосой пропускания от 0 до 40 Гц и постоянной времени 0,3 с по международной системе 10–20 (рис. 1) с монополярным объединенным ушным референтным электродом. Данные анализировали попарно: Fp_1-Fp_2 , F_3-F_4 , F_7-F_8 , C_3-C_4 , P_3-P_4 , O_1-O_2 , T_3-T_4 и T_5-T_6 .

Восьмисекундный сегмент ЭЭГ с хорошо выраженным альфа-ритмом в исследуемых каналах записи показан на рис. 2.

Исследование осуществлено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации и было одобрено локальным этическим комитетом Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета (протокол № 12/1, 4 декабря 2017 г.). От всех участников исследования было получено информированное согласие.

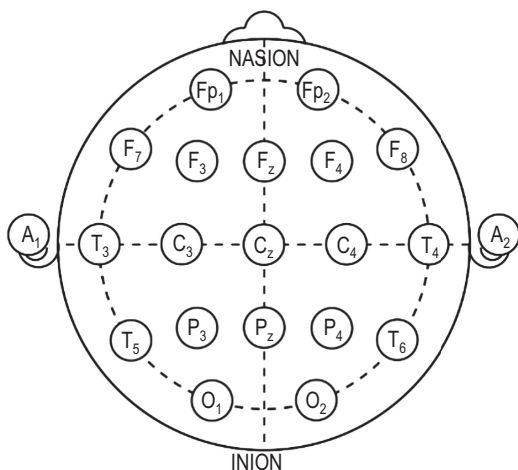


Рис. 1. Схема расположения электродов по международной системе 10–20. Пояснение см. в тексте (рисунок подготовлен авторами)

Fig. 1. Diagram of the electrode arrangement according to the international 10–20 system. See text for explanation (the figure is prepared by the authors)

Критерии отбора испытуемых для исследования

Критериями отбора всех испытуемых (здоровых и пациентов ПНД № 1) были: отсутствие в анамнезе тяжелых соматических и неврологических заболеваний,



Рис. 2. Фрагмент электроэнцефалограммы здорового испытуемого (мужчина, 42 года) и расположение исследуемых каналов записи. Эпоха — 8 с (из архива психоневрологического диспансера № 1)

Fig. 2. A fragment of the electroencephalograms of a healthy subject (male, 42 years old) and the location of the recording channels. The epoch is 8 s (from the archive of the Psychoneurological Dispensary No. 1)



черепно-мозговой травмы с потерей сознания более 5 минут; отсутствие в анамнезе алкогольной или наркотической зависимости; праворукость; субъективное восприятие испытуемым исследования — лица с негативным отношением к заданиям не включали в исследование. Не было значительных различий в возрасте или образовании между испытуемыми в обеих группах.

Контрольная группа (КГ) состояла из сотрудников Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета без наследственного анамнеза психозов. Никто из испытуемых контрольной группы не обращался за помощью к психиатрам; у них не наблюдалось психопатологических симптомов. Исследуемая группа (ИГ) — пациенты с психопатологией — включала пациентов с различной клинической картиной, согласно Международной классификации болезней 11-го пересмотра (МКБ-11) (06 Психические и поведенческие расстройства, шизофрения или другие первичные психотические расстройства), из психиатрического учреждения (больницы), где наблюдался пациент. Средняя продолжительность заболевания составляла $9,8 \pm 3,1$ года.

Анализ когерентности данных электроэнцефалографии покоя

Параметры осцилляторной активности мозга оценивали с использованием данных спектрального анализа на основе преобразования Фурье. В первую оче-

редь был проведен анализ когерентности общей ЭЭГ, а также по ритмам для данного исследования, в частности диапазонов ЭЭГ альфа-1 и альфа-2. Расчет выполняли для восьми пар электродов (табл. 1; рис. 2) в течение 3–5 минут с предварительным удалением артефактов с помощью программного обеспечения и вручную [11, 22].

Применительно к ЭЭГ когерентность — это количественный показатель, отражающий взаимосвязь электрических процессов мозга и позволяющий оценить степень синхронизации частотных параметров ЭЭГ между различными частями коры головного мозга. Другими словами, когерентность — это корреляция спектральной мощности ЭЭГ для разных электродов в одном и том же частотном диапазоне, которая представляет собой преобразование Фурье взаимной корреляции. Если основной целью исследования является стабильность связи между двумя процессами, то лучший метод — анализ когерентности. Считается также, что анализ когерентности более информативен при патологии мозга, а в нормальных физиологических условиях влиянием уровня спектральной мощности на когерентность можно пренебречь, поскольку различия будут статистически незначимыми.

Таким образом, анализ когерентности является производным методом от спектрального анализа ЭЭГ. Нейрофизиологическое обоснование метода когерентности основано на модели сходства спектрального состава в разных отведениях и отражает степень синхронизации

Таблица 1

Показатели анализа когерентности для частотных диапазонов альфа-1, альфа-2 и общей электроэнцефалограммы для симметричных пар электродов по системе 10–20

Table 1

Coherence analysis indicators for alpha-1, alpha-2 frequency bands and general electroencephalograms for symmetric pairs of electrodes according to the 10–20 system

Отведения, система 10–20 Sites, 10–20 system	Контрольная группа Control group	Исследуемая группа Study group	Контрольная группа Control group	Исследуемая группа Study group	Контрольная группа Control group	Исследуемая группа Study group
	альфа-1 alpha-1		альфа-2 alpha-2		общая электроэнцефалограмма general electroencephalogram	
Fp ₁ –Fp ₂	0,60±0,03	0,35±0,06**	0,61±0,05	0,33±0,07***	0,61±0,05	0,35±0,07**
F ₃ –F ₄	0,56±0,06	0,36±0,06**	0,53±0,04	0,38±0,05**	0,56±0,05	0,41±0,05*
F ₇ –F ₈	0,57±0,04	0,41±0,07**	0,54±0,04	0,42±0,06*	0,53±0,05	0,43±0,08*
C ₃ –C ₄	0,47±0,06	0,40±0,08*	0,45±0,05	0,39±0,07	0,47±0,04	0,37±0,09*
P ₃ –P ₄	0,61±0,07	0,43±0,08***	0,57±0,05	0,45±0,07*	0,55±0,05	0,41±0,09*
O ₁ –O ₂	0,62±0,05	0,49±0,05**	0,55±0,06	0,47±0,04	0,54±0,06	0,41±0,07*
T ₃ –T ₄	0,52±0,06	0,45±0,09*	0,46±0,04	0,31±0,09*	0,49±0,04	0,39±0,09*
T ₅ –T ₆	0,28±0,05	0,15±0,07*	0,26±0,07	0,20±0,07	0,39±0,07	0,29±0,07*

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Таблица составлена авторами
The table is prepared by the authors



активности, регистрируемой в выбранных отведениях. Синхронизация активности демонстрирует, в свою очередь, уровень консолидации различных нейронных сетей и центров, активность которых отражается в параметрах ЭЭГ в выбранных участках.

Расчет когерентности основан на принципе повторяемости волновых событий во времени, поэтому анализируемые участки ЭЭГ (эпохи анализа) должны быть достаточно длительными. В данном исследовании — 3–5 минут rs-ЭЭГ. Когерентность определяют для двух каналов — 8 пар в данном исследовании. Таким образом, с функциональной точки зрения когерентность является мерой корреляции между мощностями ЭЭГ, рассчитанными в одном и том же частотном диапазоне, но в разных отведениях. Математически когерентность ЭЭГ вычисляют следующим образом:

$$Coh = |Sxy(f)^2| / (Sxx(f) \cdot Syy(f)),$$

где Coh — когерентность; $Sxy(f)$ — значение взаимного спектра на данной частоте; $Sxx(f)$ и $Syy(f)$ — значения автоспектров x и y на той же частоте.

Неспецифические параметры электроэнцефалограммы, Loreta-Key

Проанализированы неспецифические физические параметры альфа-волнового процесса: индекс, частота и амплитуда, а также физиологические особенности альфа-колебаний — регулярность, авторитмичность (модуляция) и стабильность альфа-ритма. Анализ биоэлектрических сигналов проводили с использованием программ WinEEG, EEG Studio и Loreta-Key Viewer в соответствии с требованиями Международной федерации клинической нейрофизиологии. На первом этапе ЭЭГ-паттерны оценивали визуально по амплитудно-временным характеристикам, а также по распределению ритмов ЭЭГ по поверхности скальпа и степени десинхронизации записи в тесте с открытием/закрытием глаз и/или при предъявлении одиночных вспышек света. Общая продолжительность записи ЭЭГ составляла 10–15 минут, большую часть времени с закрытыми глазами. Артефакты удаляли с помощью программного обеспечения и вручную.

Функциональное состояние ретикулярной формации оценивали по параметрам латентного периода (ЛП) синхронизации (в норме 0,4–1,0 с), десинхронизации (в норме 0,01–0,03 с) и глубины десинхронизации (в норме 5–6-кратное снижение) в тесте открытия/закрытия глаз; тонус коры головного мозга — по соотношению частотных индексов альфа- и дельта-ритмов. Пароксизмальный индекс рассчитывали по количеству вспышек за минутный сегмент записи ЭЭГ. Функциональная стабильность корковых ритмов оце-

нивали по стабильности фоновой частоты альфа-ритма: колебания частоты альфа-ритма, превышающие 0,5 Гц, рассматривали как признак нестабильности осцилляторной активности мозга [11, 27].

Данные ЭЭГ изучали при помощи программного продукта WIN-EEG, версия 1.3, разработанного в Институте мозга человека РАН. Статистический анализ полученных данных проводили с использованием пакета STATISTICA 12. Достоверность результатов определяли с помощью p -value однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA).

На втором этапе анализа ЭЭГ оценивали спектральную мощность в основных частотных диапазонах. В данном исследовании рассматривали только альфа-волны ЭЭГ. Кроме того, с применением альфа-диапазона рассчитывали коэффициенты корреляции для сравнения внутри- и межполушарных взаимодействий. Были выбраны следующие параметры спектральной мощности: временное окно ЭЭГ 10 секунд с эпохой анализа 5 секунд. Перекрывание эпох анализа составляло 50%. Выбраны также временное окно Ханна и низкочастотный диапазон сигнала 0,25–1,25. Рассчитывали усредненный спектр для всех точек записи свободных от артефактов сегментов ЭЭГ. Все вторичные результаты преобразованы в проценты, так что общая сумма по всем частотным диапазонам для каждой точки записи составляла 100%. Достоверность полученных данных оценена с помощью p -value однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Статистические различия считали значимыми при $p < 0,05$.

Осуществлена нейровизуализация локальных изменений спектральной мощности альфа-ритма с использованием специализированного приложения электромагнитной томографии с низким разрешением (LORETA, программа Loreta-Key Viewer 04) с построением двух- и трехмерных графиков активности на структурах мозга. Метод LORETA — электромагнитная томография мозга с низким разрешением. Основная цель — провести оценку плотности распределения источников в мозге, которая наилучшим образом объясняет распределение потенциалов, регистрируемых на поверхности скальпа. Другими словами, показатель мощности электрического тока в конкретном диапазоне или во всех представленных диапазонах (область данных, обрабатываемых LORETA) может быть визуализирован в виде топографических анатомических карт как в 2D-, так и в 3D-проекции. По аналогии с топографическими картами эту программу в основном применяют для улучшения наглядности данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данном исследовании анализ когерентности был рассчитан для общей ЭЭГ, а также для частотных ха-

рактических альфа-диапазона ЭЭГ 1 и 2 (см. табл. 1). Сначала рассмотрим сравнительные характеристики для общей ЭЭГ, где в целом существуют значимые различия во всех парах электродов ($p < 0,05$) с некоторым увеличением в лобных каналах Fp_1-Fp_2 ($p < 0,01$).

Более выраженные различия когерентности зарегистрированы для частотных диапазонов альфа-ритма. Для альфа-1 (8–10,5 Гц) максимальные различия заметны во всех парах лобных и затылочных электродов ($p < 0,01$), а в теменных точках запись различия увеличивается ($p < 0,001$). На этом фоне разница в значениях анализа когерентности для альфа-2 (10,5–13 Гц) выглядит менее значимой. Максимум характерен только для лобных каналов записи Fp_1-Fp_2 ($p < 0,001$) и F_3-F_4 ($p < 0,01$), в остальных — различия минимальны (F_7-F_8 , P_3-P_4 , T_3-T_4 ; $p < 0,05$) или различий не обнаружено — C_3-C_4 , O_1-O_2 и T_5-T_6 ($p > 0,05$).

На рис. 3 показана типовая диаграмма когерентных связей. Для здоровых испытуемых КГ наблюдается достаточно симметричная картина когерентности во всех парах электродов (рис. 3, а) при практически полном отсутствии когерентности при психопатологии (рис. 3, б). На рис. 4 показана типовая карта (топограмма) активности в состоянии спокойного бодрствования. У испытуемых контрольной группы (рис. 4, а) в покое в диапазоне высокочастотного доминирующего альфа-2-ритма сохранялись межполушарные когерентные связи между лобными, центральными, теменными, височными и затылочными областями мозга. Хорошо выражена симметричная активация затылочных областей. На рис. 4, б показано, что у пациентов наблюдается разрушение когерентных связей с активацией в правой височно-теменной области. Эти находки подтверждаются данными электромагнитной

томографии с низким разрешением от Loreta в 2D- и 3D-проекциях (рис. 5).

Как показывают цифровые данные, уровень интегративных процессов в альфа-диапазоне достоверно преобладает в лобных областях мозга и снижается к затылочным областям мозга. Минимальный физиологический уровень когерентности был зарегистрирован между височными областями. В КГ сохранялись когерентные взаимодействия, характерные для состояния функционального покоя, преимущественно в коротких внутриполушарных парах, без формирования латерализованного фокуса когерентности.

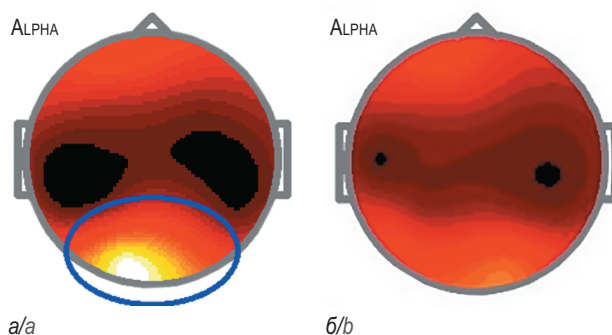


Рис. 4. Топограммы альфа-ритма на электроэнцефалограмме: а — контрольная группа; б — основная группа (из архива психоневрологического диспансера № 1)

Fig. 4. Alpha rhythm topograms on an electroencephalogram: а — control group; б — main group (from the archive of the Psychoneurological Dispensary No. 1)

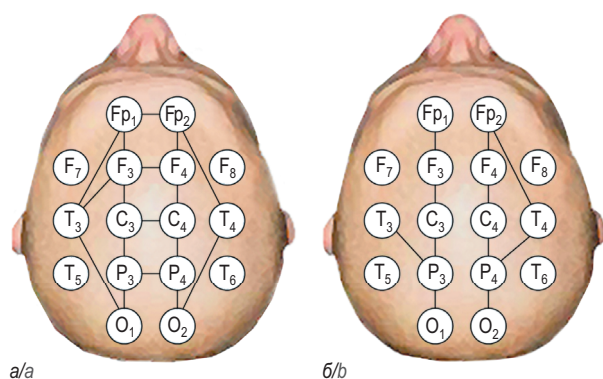


Рис. 3. Динамика пространственного распределения когерентности альфа-ритма по альфа-ритму: а — контрольная группа; б — основная группа (из архива психоневрологического диспансера № 1)

Fig. 3. Dynamics of spatial distribution of alpha-rhythm coherence by alpha-rhythm: а — control group; б — main group (from the archive of the Psychoneurological Dispensary No. 1)

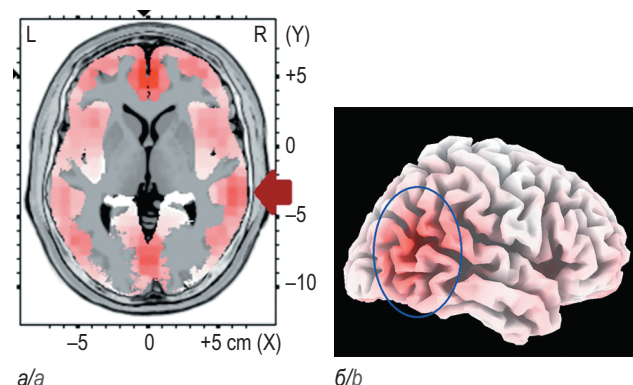


Рис. 5. Тот же пациент, см. рис. 2: а — 2D-проекция Loreta, электромагнитная нейровизуализация локальных изменений в правой височно-теменной области (красная стрелка); б — 3D-проекция Loreta — нейровизуализация локальных изменений в правой височно-теменной области (выделены маркером) (из архива психоневрологического диспансера № 1)

Fig. 5. The same patient, see Fig. 2: а — 2D Loreta projection, electromagnetic neuroimaging of local changes in the right temporoparietal region (red arrow); б — 3D Loreta projection, neuroimaging of local changes in the right temporoparietal region (highlighted with a marker) (from the archive of the Psychoneurological Dispensary No. 1)



Таблица 2

Сравнительный анализ ключевых нейродинамических параметров обследуемых

Table 2

Comparative analysis of key neurodynamic parameters of the examined

Параметры нейродинамики Neurodynamic parameters	Норма Norm	Исследуемая группа Study group	Контрольная группа Control group
Латентный период десинхронизации, с Latent period of desynchronization, s	0,01–0,03	0,07±0,002	0,02±0,012*
Латентный период синхронизации, с Latent period of synchronization, s	0,4–1,0	1,61±0,009	0,75±0,03*
Коэффициент глубины десинхронизации Depth coefficient of desynchronization	5–6-кратное снижение 5–6-times decline	3–4-кратное снижение 3–4-times decline	5–6-кратное снижение* 5–6-times decline*
Коэффициент тонуса и активации коры головного мозга The coefficient of tone and activation of the cerebral cortex	12,2	4,50±2,58	12,50±2,15*
Вспышки Flashes	Не более 2/с No more 2/s	5,1±0,85	1,8±0,25*

*p < 0,05.

Таблица составлена авторами
The table is prepared by the authors

Сохранность функциональных механизмов неспецифических систем мозга испытуемых определялась значениями ЛП синхронизации, десинхронизации и глубины десинхронизации альфа-ритма в тесте «открытие-закрытие глаз» как базовых нейродинамических процессов формирования интегральных ЭЭГ-паттернов. Специфика дисфункции таламокортикальной системы определялась степенью отклонения спектральных характеристик альфа-ритма от нормативных значений и особенностями его зонального распределения. Функциональное состояние подталамических и таламокортикальных нейронных сетей оценивали по количеству вспышек, зарегистрированных за 1 минуту фоновой записи ЭЭГ и характеризующих степень пароксизмальности мозга. Энерготонический статус мозга определяли по соотношению индексов частотных диапазонов альфа/дельта, а уровень бодрствования и активности сознания — по наличию на ЭЭГ соотношения быстроволновой и медленноволновой активности — бета/дельта частотных диапазонов (табл. 2).

Анализ результатов исследования показывает, что у испытуемых основной группы ЛП десинхронизации альфа-ритма при открытых глазах превышал нормативные значения в 2,3 раза (p < 0,05), а ЛП синхронизации основного ритма оказался в 1,6 раза выше нормативных значений (p < 0,05). При этом глубина синхронизации у больных шизофренией была в 1,22 раза ниже нормы. Совокупность полученных данных свидетельствует о нарушении функционального состояния восходящих активирующих и тормозных систем ствола мозга.

Таблица 3

Сравнительный анализ фоновых параметров альфа-ритма у обследуемых

Table 3

Comparative analysis of background parameters of alpha rhythm in the examined

Параметры альфа-ритма Alpha rhythm parameters	Исследуемая группа Study group	Контрольная группа Control group
Индекс, % Index, %	38,6±6,6	65,7**
Частота, Гц Frequency, Hz	8,8	10,1*
Полоса альфа-ритма, Гц Alpha rhythm band, Hz	7,2–12,1	8–13*
Амплитуда, мкВ Amplitude, μV	49,8	62,2**
Регулярность, Гц Regularity, Hz	1,9	0,47**
Модуляции Modulations	— —	++ +
Стабильность Stability	— —	++ +
Зональное распространение Zonal distribution	Повреждено Damaged	Сохранено Saved

*p < 0,05; **p < 0,01.

Примечание. «—» и «+» — ослабление или усиление процессов.
Note. «—» and «+» mean weakening or strengthening of processes.Таблица составлена авторами
The table is prepared by the authors



Значения коэффициента тонуса коры головного мозга при шизофрении оказались достоверно ниже нормативных значений в 2,3 раза ($p < 0,001$), что свидетельствует о дефиците энерготонических влияний, обеспечивающих поддержание уровня активности сознания.

У пациентов среднее количество вспышек превышало нормативные значения в 2,5 раза ($p < 0,04$), что указывает на увеличение степени пароксизмальности мозга и является объективным признаком дисфункционального состояния понто-гипоталамических и таламических структур 1-го функционального блока мозга.

Учитывая тесную морфофункциональную связь альфа-ритма с фронто-таламической системой, обеспечивающей модуляцию смысловых аспектов сознания, был

проведен анализ неспецифических (индекс, частота, амплитуда) и физиологических особенностей альфа-колебаний — регулярность, авторитмичность (модуляция) и стабильность альфа-ритма (табл. 3).

Сетевые данные о состоянии базовой межполушарной интеграции по результатам когерентного анализа ЭЭГ в основной и контрольной группах представлены на сетевых когерентограммах для альфа-1 (рис. 6, а) и альфа-2 ЭЭГ (рис. 6, б). Анализ показателей когерентности указывает на значительное снижение временной когерентности операционной активности нейронных сетей у пациентов (синяя линия) по сравнению со здоровыми (зеленая линия) испытуемыми на рис. 6. Для сегмента альфа-1 ЭЭГ (рис. 6, а) отмечено снижение среднего индекса синхронности в ряде межполушарных пар точек регистрации ЭЭГ, особенно в лобных областях (Fp_1-Fp_2 , $p < 0,001$; F_3-F_4 , F_7-F_8 , $p < 0,01$), теменных (O_1-O_2 , $p < 0,05$) (в основном слева) и правой теменно-центральной области (P_3-P_4 , $p < 0,01$).

Для сегмента альфа-2 ЭЭГ снижение среднего индекса синхронности отмечено во всех межполушарных парах участков ЭЭГ, и особенно в парах каналов, относящихся к лобным (Fp_1-Fp_2 , $p < 0,001$), височным (T_3-T_4 , $p < 0,01$) (в основном слева) и правой теменно-центральной области (P_3-P_4 , $p < 0,05$). Полученные данные показывают, что наиболее выраженные изменения интегративных процессов мозга наблюдаются в основном на уровне межполушарных связей в лобно-височных областях (рис. 6, б).

В целом при сравнении результатов анализа когерентности ЭЭГ между группами следует отметить значительные различия между уровнем интеграции в основной и контрольной группах. Нарушение когерентных процессов у пациентов с шизофренией генерализованное. В восьми межполушарных парах либо наблюдается значительное снижение уровня пространственной синхронизации ($p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$), либо указанное направление дезинтеграции мозга проявляется в виде тенденции.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При исследовании сознания одним из основных вопросов являются морфофункциональные характеристики нейронного субстрата сознания. Существуют представления, что даже локальные биологические нейронные сети демонстрируют некоторую форму феноменального сознания [29–31]. В связи с этим сформировались теории НКС, которые могут предсказать возникновение биологических нейронных сетей, способных к обучению в виртуальной среде, тем или иным образом воспроизводя поведение своих воплощенных аналогов.

Теории НКС рассматривают проблему сознания на фоне целого мозга, не определяя минимумы нейронных

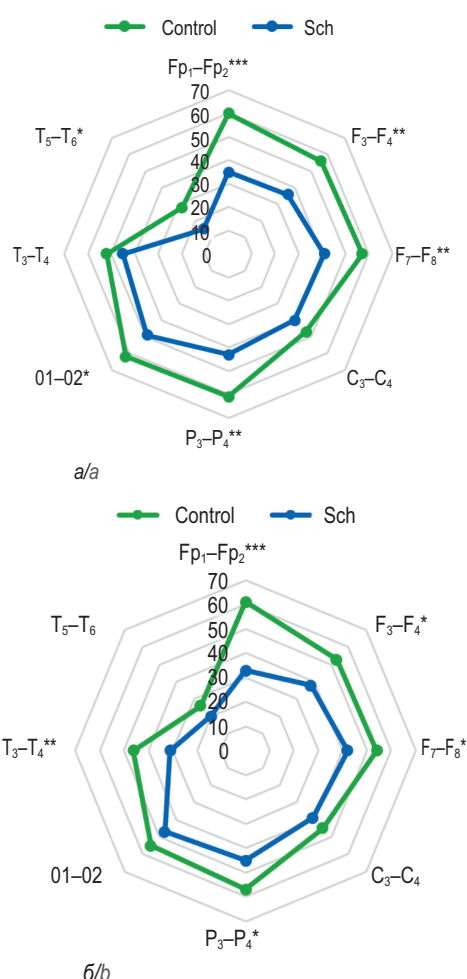


Рис. 6. Сетевые когерентограммы: а — альфа-1-ритм; б — альфа-2-ритм электроэнцефалограммы; зеленая линия — контрольная группа, синяя линия — основная группа. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ (рисунок подготовлен авторами)

Fig. 6. Network coherencegrams: а — alpha-1 rhythm; б — alpha-2 rhythm of the electroencephalogram; green line — control group, blue line — main group. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ (the figure is prepared by the authors)



сетей (системы), способные поддерживать сознание. Это ограничивает рассмотрение того, может ли *in vitro* кластер нейронов рассматриваться как нейронный коррелят сознания. Теории НКС предполагают, что только весь мозг необходим и достаточен для формирования сознания. Исходя из этого, возникает вопрос: какие из субкомпонентов сознания необходимы для создания сознательного опыта? В целом все НКС предоставляют набор требований и порогов для сознания, основанный на центральной идее, что сознание в конечном счете связано с определенными областями мозга. Эти теории преуспевают благодаря своей способности указывать на механизмы мозга, которые могут поддерживать различные степени или формы сознания.

Прогресс в решении проблемы разума может быть достигнут путем сосредоточения на вопросах, которые относительно просты и актуальны. На этом основании оценка уровней сознания при известной психопатологии предоставляет полезную модель для изучения как уровней сознания, так и нейронных сетей, поддерживающих сознание при психопатологии [28].

Согласно нашей гипотезе, основной функцией альфа-осцилляторной системы мозга является не только оптимизация когнитивной сферы, направленная на обработку информации, поддержание внимания, тонуса мозга и бодрствования, но и модуляция уровня сознания как сложной метакогнитивной задачи. В реальном когнитивном процессе оптимальные психофизиологические условия для реализации когнитивноментальных функций формируются при необходимом и достаточном тонусе и активации мозга, обеспечивающих активность сознания. В нашем исследовании при психопатологии этот параметр был снижен в 2,3 раза, что служит достоверным признаком снижения активности сознания. В практике ЭЭГ-исследований расчет и анализ параметров тонуса мозга как важнейшего психофизиологического показателя общего состояния мозга и уровня активности сознания проводят редко [11, 32].

При сравнении результатов анализа когерентности ЭЭГ между исследуемыми группами следует отметить значительные различия между уровнем интеграции в основной и контрольной группах. Нарушение когерентных процессов у пациентов с шизофренией является генерализованным. В восьми межполушарных парах либо наблюдается значительное снижение уровня пространственной синхронизации, либо указанное направление дезинтеграции мозга проявляется на уровне тенденции. Потеря амплитудных модуляций альфа-ритма при психопатологии указывает на дисфункцию десинхронизирующих и синхронизирующих систем мозга, дезорганизацию афферентного и эфферентного контроля и нарушение механизмов активности нейронных сетей, что также способствует снижению активности сознания.

Эпизоды спонтанного снижения частоты и/или амплитуды (мощности) альфа-ритма, спонтанная иррадиация основного ритма в передние отделы мозга указывают на снижение уровня бодрствования и сознания. Почти у половины испытуемых основной группы (42,5%) на ЭЭГ регистрировались кратковременные (0,5–1–2 с) эпизоды спонтанного снижения альфа-ритма до 7,5–9,2 Гц. При этом альфа-ритм характеризовался неравномерной амплитудой с признаками дезорганизации и периодами резкого спонтанного снижения амплитуды. Эпизоды спонтанного тотального 1–2-секундного снижения биоэлектрической активности спорадически регистрировались во всех отделах полушарий у 50% пациентов. Отмеченные ЭЭГ-феномены также правомерно интерпретируются как достоверные признаки снижения уровня сознания, поскольку они отражают дезорганизацию таламо-кортикальной системы мозга. Кратковременные 1–2-секундные эпизоды спонтанной синхронизации альфа-ритма локального или диффузного характера, локальное увеличение дельта-тета-активности в передних отделах мозга также связывают с отражением снижения функционального состояния мозга и уровня активности сознания.

Имеются данные, что при шизофрении регистрируются аномальные характеристики альфа-колебаний во время постстимульного интервала 100–300 мс. Эти характеристики включают снижение временно-частотных распределений в префронтальных, теменных и затылочных областях; более низкие функциональные возможности силы индекса фазовой задержки в теменных и затылочных областях; повышенную узловую эффективность локальных центров в височных областях и сниженную в затылочной области для свойств динамической топологии сети. Авторы поддерживают гипотезу, что аномальный альфа-ритм может быть основным фактором, способствующим дисфункциональной самореферентной обработке у пациентов с шизофренией [31].

В другом исследовании наблюдалась более медленная индивидуальная альфа-пиковая частота (ИАПЧ) в группе пациентов с шизофренией. Это было связано с решением когнитивных задач с активацией внимания, а также с нарушением глобального осознания, измеряемого нейропсихологическими тестами. Примечательно, что дефицит зрительного внимания полностью опосредовал взаимосвязь между ИАПЧ и глобальным осознанием. Более медленный цикл альфа-колебаний объясняет глобальные когнитивные дефициты при шизофрении через нарушения перцептивной дискриминации, измеряемой во время выполнения задачи на зрительное внимание. Результаты исследования предоставляют доказательства, что более медленная ИАПЧ может отражать нейронный механизм, ответственный



за генерализованное когнитивное нарушение при шизофрении. Анализ предполагает, что такая перцептивная чувствительность в конечном счете играет роль в когнитивных функциях более высокого порядка, в частности в сознании. Подчеркивается, что относительное время диффузной нейронной активности является вероятным нейронным механизмом генерализованных когнитивных дефицитов при шизофрении [25].

Известно, что психопатологические состояния, а также стресс или длительная депрессия могут приводить к атрофии и гибели нейронов в лимбических структурах мозга, которые играют решающую роль в формировании эмоций и расстройств, связанных с эмоциональной сферой [34, 35]. В последние 20 лет установлено, что длительный стресс способствует генерализованной нейрональной атрофии и синаптическому торможению в префронтальной коре и гиппокампе [30]. В противоположность этому миндалевидное тело и прилежащее ядро (NAc) проявляют нейрональную гипертрофию и синаптическое облегчение [30, 34]. Гиппокамп обеспечивает входы в другие области мозга, включая префронтальную кору, поясную кору и миндалевидное тело, которые вносят значительный вклад в изменения настроения и эмоций при депрессии [30]. Многие исследователи сообщали об уменьшении размеров гиппокампа и префронтальной коры у пациентов с депрессией [15, 36]. Кроме того, у 20–40% пациентов с депрессией обнаружены аномальные характеристики ЭЭГ [29] с асимметрией активности ЭЭГ в лобных областях [26]. Префронтальная кора поражается при депрессии, тревоге и стрессе. В то же время альфа-волны в префронтальной коре обычно менее активны у пациентов с депрессией, чем у нормальных людей [37].

Различные исследования описывали среднее снижение альфа- и тета-волн с увеличением компонента бета-ритма ЭЭГ у пациентов с депрессией [25]. Нейротрансмиттеры, такие как серотонин и дофамин, играют роль в регуляции настроения и когнитивной функции. Стресс также влияет на бета-ритм, который связан с избирательным вниманием и устойчивостью параметров ЭЭГ [29, 38]. Уменьшение высвобождения норадреналина в целевые области, такие как префронтальная кора и миндалевидное тело, тормозит развитие тревожного поведения [39–41].

Таким образом, при шизофрении аномалии ЭЭГ следующие [37, 42]. Первый эффект — глобальное снижение абсолютной мощности ЭЭГ, проявляющееся в альфа- и бета-частотных диапазонах, а также в широкополосной ЭЭГ. Второй эффект — относительное увеличение мощности альфа-излучения в префронтальных областях мозга на фоне его снижения в задних областях. Оба эффекта не только согласуются в альфа-диапазоне, но и связаны с симптомами ши-

зофрении и продолжительностью заболевания. В целом подтверждается концепция гипофронтальности, альфа-ритм является маркером. С нейробиологической точки зрения искажение переднезаднего градиента альфа-ритма при шизофрении кажется правдоподобным. В частности, это явление согласуется с аномалиями метаболизма таламуса и таламокортикальных цепей при шизофрении [17, 19]. У пациентов наблюдается более высокий относительный метаболизм глюкозы в подушке таламуса (*pulvinar*), которая связана со многими задними областями, и более низкий метаболизм в медиодорсальных и центромедианных ядрах таламуса, которые проецируются широко на фронто-темпоральную кору.

В нашей работе мы рассматривали только один показатель функционирования мозга и сознания — альфа-ритм ЭЭГ. Говоря о перспективных исследованиях, мы видим применение методов машинного обучения для обработки ЭЭГ, сравнение с показателями других функциональных исследований (фМРТ, МРТ, ВП и ПЭТ), интеллектуальный анализ видеопотока. Оценка динамики активности альфа-ритма может рассматриваться как прогностический критерий в динамике шизофрении.

Ограничения. Все исследования участников основной и контрольной групп проводили в амбулаторных условиях клинического психоневрологического диспансера. Диагноз параноидной шизофрении был установлен в психиатрических стационарных больницах в соответствии с МКБ-11 (06 Психические и поведенческие расстройства, шизофрения или другие первичные психотические расстройства). Средний анамнез составлял $9,8 \pm 3,1$ года. Основной задачей обследования пациентов было подтверждение диагноза для последующего получения социальной поддержки. В связи с этим использовали комплекс функциональных и психологических методов исследования.

ВЫВОДЫ

1. На основе специфики изменений rs-альфа-ритма ЭЭГ можно оценить индивидуальный уровень сознания, а также вероятную роль дезорганизации сознания в механизмах формирования симптомов шизофрении. Предложенная нами гипотеза о возможности ЭЭГ-оценки уровня сознания на основе анализа основных параметров rs-альфа-ритма подтверждается.

2. Нарушение когерентных процессов у пациентов с шизофренией генерализованное. В восьми межполушарных парах либо наблюдается значительное снижение уровня пространственной синхронизации ($p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$), либо указанное направление дезинтеграции мозга проявляется на уровне тенденции.



3. Учитывая тесную морфофункциональную связь альфа-ритма с фронто-таламической системой, обеспечивающей модуляцию смысловых аспектов сознания, был проведен анализ неспецифических (индекс, частота и амплитуда) и физиологических особенностей альфа-колебаний — регулярности, авторитмичности (модуляция) и стабильности альфа-ритма. ЛП десинхронизации альфа-ритма при открытых глазах превышал нормативные значения в 2,3 раза ($p < 0,05$), а ЛП синхронизации основного ритма оказался в 1,6 раза больше нормативных значений ($p < 0,05$). Глубина синхронизации у больных шизофренией была в 1,22 раза меньше нормы. Совокупность полученных данных связана с изменениями функционального состояния восходящей ретикулярной активирующей системы мозга. У пациентов среднее количество вспышек превышало нормативные значения в 2,5 раза ($p < 0,04$), что указывает на увеличение степени пароксизмальности мозга и является объективным признаком дисфункции понто-таламических и гипоталамических структур.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. С.А. Лытаев, К.А. Бельская — концептуализация, ресурсы; С.А. Лытаев, Н.Ю. Кипятков — методология; К.А. Бельская, В.В. Гайворонская, Н.В. Скребцова — программное обеспечение, проверка достоверности; К.А. Бельская, Н.В. Скребцова — формальный анализ; К.А. Бельская, Н.Ю. Кипятков — исследование, обработка данных; К.А. Бельская — подготовка первоначального варианта рукописи, визуализация, научное руководство; С.А. Лытаев —

рецензирование и редактирование, научное руководство, администрирование проекта.

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 от всех участников на публикацию медицинских данных.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions. S.A. Lytaev, K.A. Belskaya — conceptualization, resources; S.A. Lytaev, N.Yu. Kipyatkov — methodology; K.A. Belskaya, V.V. Gayvoronskaya, N.V. Skrebtzova — software, validation; K.A. Belskaya, N.V. Skrebtzova — formal analysis; K.A. Belskaya, N.Yu. Kipyatkov — investigation, data curation; K.A. Belskaya — writing original draft preparation, visualization, scientific leadership; S.A. Lytaev — writing, review and editing, supervision, project administration.

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.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Consent for publication. Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бельская К.А., Лытаев С.А. Электроэнцефалографическая оценка нейродинамических компонентов деятельности мозга при психопатологии и их возможной роли в развитии нейрокognитивного дефицита. *Российские биомедицинские исследования*. 2024;9(1):24–33. <https://doi.org/10.56871/RBR.2024.59.18.004>.
2. 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>.
3. Wang Z., Yu J., Gao J., Bai Y., Wan Z. Muta PT: a multi-task pre-trained transformer for classifying state of disorders of consciousness using EEG signal. *Brain Sciences*. 2024;14(7):688. <https://doi.org/10.3390/brainsci14070688>.
4. Lytaev S. Interaction of sensitivity, emotions, and motivations during visual perception. *Sensors*. 2024;24(22):7414. <https://doi.org/10.3390/s24227414>.
5. Passaro A.P., Stice S.L. Electrophysiological analysis of brain organoids: current approaches and advancements. *Front Neurosci*. 2021;14:622137. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.622137>.
6. Мелашенко Т.В., Фомина М.Ю. Изменения электрофизиологической активности головного мозга у доношенных новорожденных с гипоксически-ишемической энцефалопатией. *Педиатр*. 2020;11(2):74–84. <https://doi.org/10.17816/PED11273-84>.
7. Markin K., Trufanov A., Frunza D., Litvinenko I., Tarumov D., Krasichkov A. et al. fMRI findings in cortical brain networks interactions in migraine following repetitive transcranial magnetic stimulation. *Front Neurol*. 2022;(13):915346. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.915346>.
8. Lytaev S. Long-latency event-related potentials (300–1000 ms) of the Visual Insight. *Sensors*. 2022;22(4):1323. <https://doi.org/10.3390/s22041323>.
9. Volzhenin K., Changeux J.P., Dumas G. Multilevel development of cognitive abilities in an artificial neural network. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2022;119(39):e2201304119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2201304119>.



10. Kaushik P., Yang H., Roy P.P., Vugt M.V. Comparing resting state and task-based EEG using machine learning to predict vulnerability to depression in a non-clinical population. *Sci Reps.* 2023;13(1):7467. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34298-2>.
11. Kabbara A., Falou W.E., Khalil M., Wendling F., Hassan M. The dynamic functional core network of the human brain at rest. *Sci Rep.* 2017;7(1): 2936. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03420-6>.
12. Li F., Peng W., Jiang Y. et al. The dynamic brain networks of motor imagery: time-varying causality analysis of scalp EEG. *Int J Neural Syst.* 2019;29(1):1850016. <https://doi.org/10.1142/S0129065718500168>.
13. Belskaya K., Lytaev S. Neural network dynamic centers of EEG alpha rhythm for objective assessment of the state of consciousness in psychopathological conditions. In: Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). Bioinformatics and Biomedical Engineering. 11th International Conference, IWBIO 2024, Meloneras, Gran Canaria, Spain, July 15–17, 2024. Proceedings. Part I. 2024;LNBI:14848. P. 277–289. https://doi.org/10.1007/978-3-031-64629-4_23.
14. Dellen E.V., Börner C., Schutte M. et al. Functional brain networks in the schizophrenia spectrum and bipolar disorder with psychosis. *NPJ Schizophrenia.* 2020;6(1):22. <https://doi.org/10.1038/s41537-020-00111-6>.
15. Cui X., Ding C., Wei J. et al. Analysis of dynamic network reconfiguration in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder based multilayer network. *Cereb Cortex.* 2021;31(11):4945–4957. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhab133>.
16. Tsytsarev V. Methodological aspects of studying the mechanisms of consciousness. *Behav Brain Res.* 2022;419:113684. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2021.113684>.
17. Braun U., Schäfer A., Bassett D.S. et al. Dynamic brain network reconfiguration as a potential schizophrenia genetic risk mechanism modulated by NMDA receptor function. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2016;113(44):12568–12573. <https://doi.org/10.1073/pnas.1608819113>.
18. Zhao T., Zhu Y., Tang H., Xie R., Zhu J., Zhang J. H. Consciousness: new concepts and neural networks. *Front Cell Neurosci.* 2019;13: 302. <https://doi.org/10.3389/fncel.2019.00302>.
19. Ramsay I.S., Lynn P.A., Schermitzler B., Sponheim S.R. Author correction: individual alpha peak frequency is slower in schizophrenia and related to deficits in visual perception and cognition. *Sci Rep.* 2021;11(1):17852. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97303-6>.
20. Jia S., Liu M., Huang P. et al. Abnormal alpha rhythm during self-referential processing in schizophrenia patients. *Front Psychiatry.* 2019;10:691. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2019.00691>.
21. Zhu Z., Wang H., Bi H. et al. Dynamic functional connectivity changes of resting-state brain network in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Behav Brain Res.* 2023;437:114121. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2022.114121>.
22. Calhoun V.D., Miller R., Pearlson G., Adali T. The chronnectome: time-varying connectivity networks as the next frontier in fMRI data discovery. *Neuron.* 2014;84(2):262–274. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2014.10.015>.
23. Zhang J., Hao Y., Wen X. et al. Subject-independent emotion recognition based on EEG frequency band features and self-adaptive graph construction. *Brain Sciences.* 2024;14(3):271. <https://doi.org/10.3390/brainsci14030271>.
24. Glausier J.R., Lewis D.A. Dendritic spine pathology in schizophrenia. *Neuroscience.* 2013;251:90–107. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2012.04.044>.
25. Mauney S.A., Pietersen C.Y., Sonntag K.C., Woo T.U.W. Differentiation of oligodendrocyte precursors is impaired in the prefrontal cortex in schizophrenia. *Schizophr Res.* 2015;169(1–3):374–380. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2015.10.042>.
26. Klimesch W., Sauseng P., Hanslmayr S. EEG alpha oscillations: the inhibition-timing hypothesis. *Brain Res Rev.* 2007;53(1):63–88. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.06.003>.
27. Mashour G.A., Roelfsema P., Changeux J.P., Dehaene S. Conscious processing and the global neuronal workspace hypothesis. *Neuron.* 2020;105(5):776–798. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2020.01.026>.
28. Zhang R., Zeng Y., Tong L., Yan B. Specific neural mechanisms of self-cognition and the application of brainprint recognition. *Biology.* 2023;12(3):486. <https://doi.org/10.3390/biology12030486>.
29. Sigawi T., Hamtzany O., Shakargy J.D., Ilan Y. The constrained disorder principle may account for consciousness. *Brain Sci.* 2024;14(3):209. <https://doi.org/10.3390/brainsci14030209>.
30. Choi S.O., Choi J.G., Yun J.Y. A study of brain function characteristics of service members at high risk for accidents in the military. *Brain Sci.* 2023;13(8):1157. <https://doi.org/10.3390/brainsci13081157>.
31. Montoya I., Montoya D. What is it like to be a brain organoid phenomenal consciousness in a biological neural network. *Entropy.* 2023;25(9):1328. <https://doi.org/10.3390/e25091328>.
32. Jeziorski J., Brandt R., Evans J.H. et al. Brain organoids, consciousness, ethics and moral status. *Semin Cell Dev Biol.* 2023;144:97–102. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2022.03.020>.
33. Xiang J., Sun Y., Wu X. et al. Abnormal spatial and temporal overlap of time-varying brain functional networks in patients with schizophrenia. *Brain Sci.* 2024;14(1):40. <https://doi.org/10.3390/brainsci14010040>.
34. Wannan C.M.J. et al. Evidence for network-based cortical thickness reductions in schizophrenia. *Am J Psychiatry.* 2019;176(7): 552–563. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2019.18040380>.
35. Bessa J.M., Morais M., Marques F. et al. Stress-induced anhedonia is associated with hypertrophy of medium spiny neurons of the nucleus accumbens. *Transl Psychiatry.* 2013;3(6):e266. <https://doi.org/10.1038/tp.2013.39>.
36. Lytaev S. Psychological and neurophysiological screening investigation of the collective and personal stress resilience. *Behav Sci (Basel).* 2023;13(3):258. <https://doi.org/10.3390/bs13030258>.



37. Brookes M.J., Leggett J., Rea M. et al. Magnetoencephalography with optically pumped magnetometers (OPM-MEG): the next generation of functional neuroimaging. *Trends Neurosci.* 2022;45(8):621–634. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2022.05.008>.
38. Lytaev S. Short time algorithms for screening examinations of the collective and personal stress resilience. In: Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). International Conference on Human-Computer Interaction. 2023;LNAI;14017. P. 442–458. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35392-5_34.
39. Johnson H.M. Anxiety and hypertension: is there a link a literature review of the comorbidity relationship between anxiety and hypertension. *Curr Hypertens Rep.* 2019;21(9):66. <https://doi.org/10.1007/s11906-019-0972-5>.
40. Török N., Maszlag-Török R., Molnár K. et al. Single nucleotide polymorphisms of indoleamine 2,3-dioxygenase 1 influenced the age onset of Parkinson's disease. *Front Biosci (Landmark Ed.)*. 2022;27(9):265. <https://doi.org/10.31083/j.fbl2709265>.
41. Arkhipov A.Y., Nurbekov M.K., Strelets V.B. Incongruence of neurophysiological manifestations as reflection of disturbances in synaptic pruning of the cortex in paranoid schizophrenia. *Research square*. 2021. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-928057/v1>.
42. Fromer M., Roussos P., Sieberts S.K. et al. Gene expression elucidates functional impact of polygenic risk for schizophrenia. *Nat Neurosci.* 2016;19(11):1442–1453. <https://doi.org/10.1038/nn.4399>.
43. Lytaev S., Belskaya K. Levels of consciousness in psychopathology according to monitoring of neural network centers alpha rhythm RS-EEG. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. 2025;14(4):3133–3145. <https://doi.org/10.11591/eei.v14i4.9546>.
44. Lytaev S., Belskaya K. Neural network of alpha rhythm Rs-EEG activity for the Assessment of consciousness in psychopathology. *OBM Neurobiology*. 2025;9(3):299. <https://doi.org/10.21926/obm.neurobiol.2503299>.
4. Lytaev S. Interaction of sensitivity, emotions, and motivations during visual perception. *Sensors*. 2024;24(22):7414. <https://doi.org/10.3390/s24227414>.
5. Passaro A.P., Stice S.L. Electrophysiological analysis of brain organoids: current approaches and advancements. *Front Neurosci.* 2021;14:622137. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.622137>.
6. Melashenko T.V., Fomina M.Yu. Changes in the electrobiological activity of the brain in full-term newborns with hypoxic-ischemic encephalopathy. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2020;11(2):73–84. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/PED11273-84>.
7. Markin K., Trufanov A., Frunza D., Litvinenko I., Tarumov D., Krasichkov A. et al. fMRI findings in cortical brain networks interactions in migraine following repetitive transcranial magnetic stimulation. *Front Neurol.* 2022;(13):915346. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.915346>.
8. Lytaev S. Long-latency event-related potentials (300–1000 ms) of the Visual Insight. *Sensors*. 2022;22(4):1323. <https://doi.org/10.3390/s22041323>.
9. Volzhenin K., Changeux J.P., Dumas G. Multilevel development of cognitive abilities in an artificial neural network. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2022;119(39):e2201304119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2201304119>.
10. Kaushik P., Yang H., Roy P.P., Vugt M.V. Comparing resting state and task-based EEG using machine learning to predict vulnerability to depression in a non-clinical population. *Sci Reps*. 2023;13(1):7467. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34298-2>.
11. Kabbara A., Falou W.E., Khalil M., Wendling F., Hassan M. The dynamic functional core network of the human brain at rest. *Sci Rep*. 2017;(7)1: 2936. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03420-6>.
12. Li F., Peng W., Jiang Y. et al. The dynamic brain networks of motor imagery: time-varying causality analysis of scalp EEG. *Int J Neural Syst*. 2019;29(1):1850016. <https://doi.org/10.1142/S0129065718500168>.
13. Belskaya K., Lytaev S. Neural network dynamic centers of EEG alpha rhythm for objective assessment of the state of consciousness in psychopathological conditions. In: Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). Bioinformatics and Biomedical Engineering. 11th International Conference, IWBBIO 2024, Meloneras, Gran Canaria, Spain, July 15–17, 2024. Proceedings. Part I. 2024;LNBI;14848. P. 277–289. https://doi.org/10.1007/978-3-031-64629-4_23.
14. Dellen E.V., Börner C., Schutte M. et al. Functional brain networks in the schizophrenia spectrum and bipolar disorder with psychosis. *NPJ Schizophrenia*. 2020;6(1):22. <https://doi.org/10.1038/s41537-020-00111-6>.
15. Cui X., Ding C., Wei J. et al. Analysis of dynamic network reconfiguration in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder based multilayer network. *Cereb Cortex*. 2021;31(11):4945–4957. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhab133>.
16. Tsytarev V. Methodological aspects of studying the mechanisms of consciousness. *Behav Brain Res*. 2022;419:113684. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2021.113684>.

REFERENCES

1. Belskaya K.A., Lytaev S.A. Electroencephalographic assessment of cerebral activity neurodynamic components and their possible role in the development of neurocognitive deficiency. *Russian Biomedical Research*. 2024;9(1):24–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.56871/RBR.2024.59.18.004>.
2. 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>.
3. Wang Z., Yu J., Gao J., Bai Y., Wan Z. Muta PT: a multi-task pre-trained transformer for classifying state of disorders of consciousness using EEG signal. *Brain Sciences*. 2024;14(7):688. <https://doi.org/10.3390/brainsci14070688>.



17. Braun U., Schäfer A., Bassett D.S. et al. Dynamic brain network reconfiguration as a potential schizophrenia genetic risk mechanism modulated by NMDA receptor function. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2016;113(44):12568–12573. <https://doi.org/10.1073/pnas.1608819113>.
18. Zhao T., Zhu Y., Tang H., Xie R., Zhu J., Zhang J. H. Consciousness: new concepts and neural networks. *Front Cell Neurosci*. 2019;13:302. <https://doi.org/10.3389/fncel.2019.00302>.
19. Ramsay I.S., Lynn P.A., Schermitzler B., Sponheim S.R. Author correction: individual alpha peak frequency is slower in schizophrenia and related to deficits in visual perception and cognition. *Sci Rep*. 2021;11(1):17852. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97303-6>.
20. Jia S., Liu M., Huang P. et al. Abnormal alpha rhythm during self-referential processing in schizophrenia patients. *Front Psychiatry*. 2019;10:691. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2019.00691>.
21. Zhu Z., Wang H., Bi H. et al. Dynamic functional connectivity changes of resting-state brain network in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Behav Brain Res*. 2023;437:114121. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2022.114121>.
22. Calhoun V.D., Miller R., Pearlson G., Adali T. The chronnectome: time-varying connectivity networks as the next frontier in fMRI data discovery. *Neuron*. 2014;84(2):262–274. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2014.10.015>.
23. Zhang J., Hao Y., Wen X. et al. Subject-independent emotion recognition based on EEG frequency band features and self-adaptive graph construction. *Brain Sciences*. 2024;14(3):271. <https://doi.org/10.3390/brainsci14030271>.
24. Glausier J.R., Lewis D.A. Dendritic spine pathology in schizophrenia. *Neuroscience*. 2013;251:90–107. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2012.04.044>.
25. Mauney S.A., Pietersen C.Y., Sonntag K.C., Woo T.U.W. Differentiation of oligodendrocyte precursors is impaired in the prefrontal cortex in schizophrenia. *Schizophr Res*. 2015;169(1–3):374–380. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2015.10.042>.
26. Klimesch W., Sauseng P., Hanslmayr S. EEG alpha oscillations: the inhibition-timing hypothesis. *Brain Res Rev*. 2007;53(1):63–88. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.06.003>.
27. Mashour G.A., Roelfsema P., Changeux J.P., Dehaene S. Conscious processing and the global neuronal workspace hypothesis. *Neuron*. 2020;105(5):776–798. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2020.01.026>.
28. Zhang R., Zeng Y., Tong L., Yan B. Specific neural mechanisms of self-cognition and the application of brainprint recognition. *Biology*. 2023;12(3):486. <https://doi.org/10.3390/biology12030486>.
29. Sigawi T., Hamtzany O., Shakargy J.D., Ilan Y. The constrained disorder principle may account for consciousness. *Brain Sci*. 2024;14(3):209. <https://doi.org/10.3390/brainsci14030209>.
30. Choi S.O., Choi J.G., Yun J.Y. A study of brain function characteristics of service members at high risk for accidents in the military. *Brain Sci*. 2023;13(8):1157. <https://doi.org/10.3390/brainsci13081157>.
31. Montoya I., Montoya D. What is it like to be a brain organoid phenomenal consciousness in a biological neural network. *Entropy*. 2023;25(9):1328. <https://doi.org/10.3390/e25091328>.
32. Jeziorski J., Brandt R., Evans J.H. et al. Brain organoids, consciousness, ethics and moral status. *Semin Cell Dev Biol*. 2023;144:97–102. <https://doi.org/10.1016/j.semdb.2022.03.020>.
33. Xiang J., Sun Y., Wu X. et al. Abnormal spatial and temporal overlap of time-varying brain functional networks in patients with schizophrenia. *Brain Sci*. 2024;14(1):40. <https://doi.org/10.3390/brainsci14010040>.
34. Wannan C.M.J. et al. Evidence for network-based cortical thickness reductions in schizophrenia. *Am J Psychiatry*. 2019;176(7):552–563. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2019.18040380>.
35. Bessa J.M., Morais M., Marques F. et al. Stress-induced anhedonia is associated with hypertrophy of medium spiny neurons of the nucleus accumbens. *Transl Psychiatry*. 2013;3(6):e266. <https://doi.org/10.1038/tp.2013.39>.
36. Lytaev S. Psychological and neurophysiological screening investigation of the collective and personal stress resilience. *Behav Sci (Basel)*. 2023;13(3):258. <https://doi.org/10.3390/bs13030258>.
37. Brookes M.J., Leggett J., Rea M. et al. Magnetoencephalography with optically pumped magnetometers (OPM-MEG): the next generation of functional neuroimaging. *Trends Neurosci*. 2022;45(8):621–634. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2022.05.008>.
38. Lytaev S. Short time algorithms for screening examinations of the collective and personal stress resilience. In: Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). International Conference on Human-Computer Interaction. 2023;LNAI:14017. P. 442–458. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35392-5_34.
39. Johnson H.M. Anxiety and hypertension: is there a link a literature review of the comorbidity relationship between anxiety and hypertension. *Curr Hypertens Rep*. 2019;21(9):66. <https://doi.org/10.1007/s11906-019-0972-5>.
40. Török N., Maszlag-Török R., Molnár K. et al. Single nucleotide polymorphisms of indoleamine 2,3-dioxygenase 1 influenced the age onset of Parkinson's disease. *Front Biosci (Landmark Ed.)*. 2022;27(9):265. <https://doi.org/10.31083/j.fbl2709265>.
41. Arkhipov A.Y., Nurbekov M.K., Strelets V.B. Incongruence of neurophysiological manifestations as reflection of disturbances in synaptic pruning of the cortex in paranoid schizophrenia. *Research square*. 2021. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-928057/v1>.
42. Fromer M., Roussos P., Sieberts S.K. et al. Gene expression elucidates functional impact of polygenic risk for schizophrenia. *Nat Neurosci*. 2016;19(11):1442–1453. <https://doi.org/10.1038/nn.4399>.
43. Lytaev S., Belskaya K. Levels of consciousness in psychopathology according to monitoring of neural network centers alpha rhythm RS-EEG. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. 2025;14(4):3133–3145. <https://doi.org/10.11591/eei.v14i4.9546>.
44. Lytaev S., Belskaya K. Neural network of alpha rhythm Rs-EEG activity for the Assessment of consciousness in psychopathology. *OBM Neurobiology*. 2025;9(3):299. <https://doi.org/10.21926/obm.neurobiol.2503299>.



Об авторах

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

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 кафедры нормальной физиологии. E-mail: niskrebcova@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-5641-8571>; SPIN: 8472-6915

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

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

* Автор, ответственный за переписку.
Corresponding author.

Authors' info

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

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

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

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