

DOI: 10.56871/RBR.2024.59.18.004

УДК 616.895.7/8-07+004.93'11+535.36+612.82+616-71+159.9

ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НЕЙРОДИНАМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МОЗГА ПРИ ПСИХОПАТОЛОГИИ И ИХ ВОЗМОЖНОЙ РОЛИ В РАЗВИТИИ НЕЙРОКОГНИТИВНОГО ДЕФИЦИТА

© Ксения Алексеевна Бельская, Сергей Александрович Лытаев

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

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

Для цитирования: Бельская К.А., Лытаев С.А. Электроэнцефалографическая оценка нейродинамических компонентов деятельности мозга при психопатологии и их возможной роли в развитии нейрокогнитивного дефицита // Российские биомедицинские исследования. 2024. Т. 9. № 1. С. 24–33. DOI: <https://doi.org/10.56871/RBR.2024.59.18.004>

Поступила: 05.12.2023

Одобрена: 11.01.2024

Принята к печати: 04.03.2023

Резюме. *Актуальность* работы обусловлена вариабельностью научных представлений о механизмах развития нейрокогнитивного дефицита, ассоциированного с рядом психопатологических состояний. Остается много вопросов о функциях отдельных структур и систем мозга, а также центральной нейродинамики в развитии когнитивного снижения. Наименее изученным в современной нейронауке остается вопрос о влиянии дезорганизации вертикально ориентированных структур I функционального блока мозга (ФБМ) на формирование нейрокогнитивного дефицита при психической патологии шизофренического спектра. *Цель исследования* заключалась в оценке функционального состояния первого энергетического блока мозга и определении роли нарушений нейродинамических компонентов деятельности в развитии нейрокогнитивного дефицита при психопатологии. *Материалы и методы.* Обследовано 40 пациентов, страдающих хронической параноидной шизофренией, и 38 здоровых испытуемых, сопоставимых по возрасту, гендерному соотношению и образовательному уровню. Регистрация ЭЭГ осуществлялась монополярно по международной системе 10/20 с помощью 21-канального аппаратно-программного комплекса «Телепат-1». С помощью визуального и спектрального методов анализа изучались как неспецифические физические параметры α -ритма — индекс, частота и амплитуда, так и физиологические особенности α -осцилляций — регулярность, авторитмичность (модуляции) и стабильность α -ритма. Функциональное состояние ретикулярной формации (РФ) определяли по параметрам латентных периодов синхронизации, десинхронизации и глубины десинхронизации в пробе с открытием/закрытием глаз. Тонус коры определяли по соотношению значений индексов альфа- и дельта-ритмов. Порог судорожной готовности мозга рассчитывали по количеству зарегистрированных вспышек в фоновой ЭЭГ. Колебания частоты базового альфа-ритма, превышающие 0,5 Гц, расценивались как признак нестабильности осцилляторной активности мозга. *Результаты.* Установлено, что нарушения познавательных функций при шизофрении связаны не только с дисфункцией коры (II и III ФБМ), но также с дезорганизацией вертикально ориентированных структур I ФБМ. Выявлена дезорганизация ретикулярной формации и альфа-регулирующей системы, снижение тонуса и активации коры мозга. Обосновано возможное патогенетическое влияние этих патофизиологических факторов на формирование нейрокогнитивного дефицита. Определены наиболее информативные диагностические ЭЭГ-признаки нарушения нейродинамических компонентов деятельности мозга.

Ключевые слова: параноидная шизофрения, электроэнцефалография, спектральный анализ, нейродинамика, нейрокогнитивный дефицит



ELECTROENCEPHALOGRAPHIC ASSESSMENT OF CEREBRAL ACTIVITY NEURODYNAMIC COMPONENTS AND THEIR POSSIBLE ROLE IN THE DEVELOPMENT OF NEUROCOGNITIVE DEFICIENCY

© Ksenia A. Belskaya, Sergey A. Lytaev

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

Contact information: Ksenia A. Belskaya — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Normal Physiology.
E-mail: belskaya.k.a@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9267-0639> SPIN: 6513-7335

For citation: Belskaya KA, Lytaev SA. 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. DOI: <https://doi.org/10.56871/RBR.2024.59.18.004>

Received: 05.12.2023

Revised: 11.01.2024

Accepted: 04.03.2024

Abstract. *The relevance* of this article is due to the variability of scientific ideas about the mechanisms of development of neurocognitive deficit associated with a line of psychopathological conditions. Many questions remain about the functions of individual brain structures and systems, as well as central neurodynamics in the development of cognitive defects. The question of the influence of the disorganization of vertically oriented structures of the first brain functional block (BFB) on the formation of neurocognitive deficit in mental pathology of the schizophrenic spectrum remains the least studied in modern neuroscience. *The present research was aimed* to assess the functional state of the first brain energy block and to determine the role of disorders in the neurodynamic components of activity in the development of neurocognitive deficit in psychopathology. **Materials and methods.** 40 patients with paranoid schizophrenia and 38 healthy subjects matched in age, gender ratio and educational level were examined. EEG by monopolar according to the international system 10/20 using a 21-channel system “Telepat-1” was registered. With the help of visual and spectral methods of analysis, both nonspecific physical parameters of the α -rhythm — index, frequency and amplitude, and physiological features of α -oscillations — reactivity, regularity, autorhythm (modulation) and stability of the α -rhythm were studied. The functional state of the RF was determined by the parameters of the latent periods of synchronization, desynchronization, and the depth of desynchronization in the eye opening/closing test. The tonus of the cortex by the ratio of the values of the indices of alpha- and delta-rhythms was determined. The threshold of convulsive readiness of the brain was calculated from the number of recorded flashes in the background EEG. Fluctuations in the frequency of the basic alpha rhythm exceeding 0.5 Hz were regarded as a sign of instability in the oscillatory activity of the brain. **Results.** It has been established that impairment of cognitive functions in schizophrenia is associated not only with cortical dysfunction (II and III BFB), but also with disorganization of vertically oriented structures of the I BFB. Revealed disorganization of the reticular formation and alpha-regulating system, decreased tone and activation of the cerebral cortex. The possible pathogenetic influence of these pathophysiological factors on the formation of neurocognitive deficit has been substantiated. The most informative diagnostic EEG-signs of disorders in the neurodynamic components of brain activity were determined.

Keywords: paranoid schizophrenia, EEG, spectral analysis, brain functional block, neurocognitive deficit

ВВЕДЕНИЕ

Современная цивилизация базируется на знаниях и обработке значительных объемов информации. При этом объем и скорость накопления новых знаний, необходимых для успешного функционирования общества и деятельности отдельного индивида, экспоненциально возрастает. Именно поэтому современному человеку для того, чтобы оставаться профессионально компетентным и развивать свой интеллект и инновационное мышление, необходимо приобретать

все большие объемы знаний на протяжении всей жизни [1, 10, 11].

При этом современная система образования приобретает характер личностноориентированного обучения, при котором когнитивное развитие направлено на качественное преобразование всех познавательных процессов. В век информационных технологий человеку недостаточно владеть только знаниями и умениями, необходимо также обладать такими качествами высшей нервной деятельности, как гибкость мышления, высокая адаптивность к изменяющимся услови-

ям, стремление к самообучению и волевыми качествами в достижении поставленной цели [17].

Вместе с тем анализ литературы показывает, что нарушение познавательных функций ассоциируется со значительным количеством неврологических, психических и психосоматических заболеваний, их распространенность увеличивается в связи с постарением населения. Многие формы психопатологии, относящиеся к сфере так называемой большой психиатрии, в большинстве случаев также ассоциированы с нейрокогнитивным дефицитом, который нередко носит хронический инвалидизирующий характер и приводит к выраженной профессиональной и социальной дезадаптации. Наиболее распространенным заболеванием из этой категории является шизофрения.

В настоящее время в мире насчитывается около 50 млн человек, страдающих различными формами деменции. Число пациентов с выраженными когнитивными расстройствами каждые десять лет возрастает в два раза, и к 2050 году их общее число во всех странах мира достигнет 130 млн [13]. Нарушения познавательных функций встречаются у 20% детей и подростков. Это приводит к трудностям в обучении, девиантному поведению, психоэмоциональным нарушениям и, как следствие, к социальной дезадаптации [2, 3, 14].

В этой связи в когнитивной психофизиологии растет интерес к изучению механизмов нарушения когнитивных функций, а также их роли в развитии трудностей обучения и механизмах развития нейрокогнитивного дефицита. Проблема изучения биологических основ нарушения познавательных функций (особенно при тяжелых формах психопатологии) выдвинулась в нейронауке в число наиболее актуальных [10, 11]. Формирование нейрокогнитивного дефицита, возникающего в ходе развития шизофренического процесса, является одной из наиболее сложных и малоизученных проблем современной нейробиологии.

Согласно DSM-V, к когнитивным расстройствам относят снижение по сравнению с преморбидным уровнем одной или нескольких высших мозговых функций, обеспечивающих процессы внимания, восприятия, сохранения, преобразования и передачи информации [27].

С позиций концепции о трех структурно-функциональных блоках мозга по А.Р. Лурия в формировании нейрокогнитивного дефицита заинтересованы структуры всех блоков мозга, однако специфика и механизмы нарушений на уровне каждого из них остаются мало изученными [14, 19]. По этой причине установление закономерностей и расшифровка механизмов дезорганизации когнитивно-мыслительных функций, участие в их патогенезе вертикально (I ФБМ) и горизонтально (II и III ФБМ) организованных отделов мозга является одной из наиболее сложных и интересных проблем нейропсихологии, имеющей как теоретическое, так и практическое значение.

Анализ доступной нейропсихологической литературы показывает, что патогенетическое значение дезорганизации центральной нейродинамики, которая осуществляется I ФБМ,

в механизмах развития нейрокогнитивного дефицита при шизофрении и других психопатологических состояниях является также малоизученной проблемой. В литературе существует немного публикаций, посвященных исследованию нейродинамики при нарушении когнитивных функций [2, 18].

Парадигма «нейрокогнитивного дефицита», предложенная в конце XX века А. Breier, рассматривает нарушение когнитивных функций как «третью ключевую группу симптомов» шизофрении, наряду с позитивными и негативными клиническими симптомами [26]. В последнее время установлено, что нейрокогнитивный дефицит при шизофрении наблюдается у 94% пациентов, проявляется на ранних стадиях, персистирует на протяжении всего периода заболевания и сохраняется в состоянии ремиссии [13].

В практической нейропсихологии изучению механизмов нейрокогнитивного снижения и, в частности, роли нейродинамических аспектов нарушения познавательных функций у пациентов с психопатологией отводится незаслуженно мало внимания. Объективное нейропсихологическое исследование работы мозга на основе системного нейродинамического подхода, основоположником которого в области психофизиологии был А.А. Ухтомский, остается необоснованно мало востребованным современными исследователями, а сам термин «нейродинамика» употребляется в нейронаучной литературе все реже.

Продуктивность исследований церебральных дисфункций в нейропсихологии связывают с системным подходом, сущность которого состоит в построении целостной картины объекта исследования на основе выдвигаемого системного принципа и осуществления исследования на основе этого принципа. Начиная с классических работ А.А. Ухтомского, показано, что головной мозг представляет собой сложную нейродинамическую систему, постоянно стремящуюся к интеграции и к стереотипности объединенной деятельности [6, 24].

Согласно современным представлениям головной мозг рассматривается как сложная информационно-вычислительная система с большим числом равновесных, но изменчивых состояний. Устойчивость мозга в пределах некоторого функционального уровня является нейродинамическим процессом, поддерживающим физиологические параметры посредством гомеостатической регуляции. Процессы гомеостатической регуляции корректируют все внутренние флуктуации состояния центральной нервной системы (ЦНС) около среднего уровня [9].

Научно-теоретической базой настоящего исследования нейропсихологических механизмов развития нейрокогнитивного дефицита явились: концепция А.Р. Лурия о трех структурно-функциональных блоках мозга [14, 19], учение И.П. Павлова об основных нейродинамических законах [23] и теория доминанты А.А. Ухтомского [24].

Согласно концепции А.Р. Лурия, все психические процессы и различные виды сознательной деятельности человека в норме и при патологии целесообразно рассматривать с позиций функциональной роли трех структурно-функциональных

блоков мозга: I ФБМ — блок, обеспечивающий регуляцию тонуса и уровня бодрствования; II ФБМ — блок получения, переработки и хранения информации; III ФБМ — блок программирования, регуляции и контроля психической деятельности.

Чтобы обеспечить нормальную скорость и качество нейрокognитивных процессов, необходимы оптимальный тонус коры и адекватный уровень бодрствования. Только при таком нейродинамическом состоянии головной мозг может наилучшим образом принимать и перерабатывать информацию, вызывать в памяти нужные избирательные системы связей и ассоциации, программировать деятельность.

О том, что для осуществления организованной и эффективной когнитивной деятельности необходим оптимальный тонус коры, указывал еще И.П. Павлов, описавший основные нейродинамические законы. Так, согласно нейродинамическому «закону силы», в состоянии сниженного тонуса коры нарушается нормальное соотношение возбуждительных и тормозных процессов, а также их подвижность, необходимые для осуществления организованного протекания психической деятельности [23].

Первый энергетический блок мозга включает структуры мозгового ствола, образования межучного мозга и медиобазальные отделы лобной и височной коры (рис. 1).

На разных уровнях первого блока мозга выделяют три основных энергетических источника, обеспечивающих регулирующие влияния на кору мозга, поддержание рабочего тонуса и уровень бодрствования.

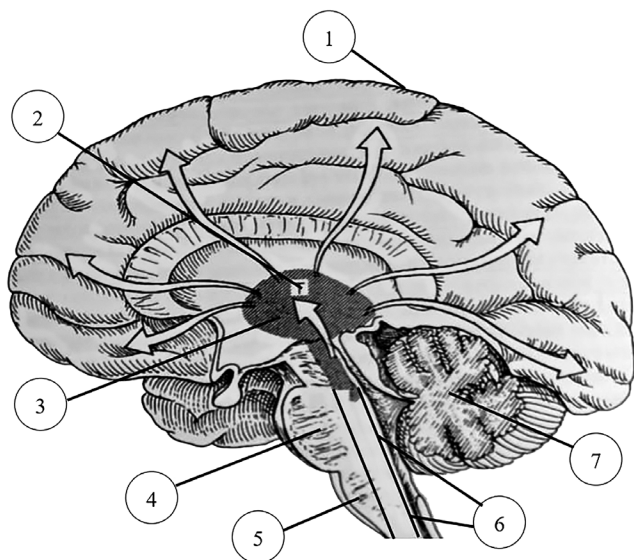


Рис. 1. Первый функциональный блок мозга: 1 — кора головного мозга; 2 — зрительный бугор; 3 — гипоталамус; 4 — мост; 5 — продолговатый мозг; 6 — восходящая РФ ствола мозга; 7 — мозжечок

Fig. 1. The first functional block of the brain: 1 — cerebral cortex; 2 — visual tubercle; 3 — hypothalamus; 4 — brainstem; 5 — medulla oblongata; 6 — ascending brainstem RF; 7 — cerebellum

Основным источником поддержания тонуса и активации коры мозга является ретикулярная формация (РФ) ствола мозга. Восходящая и нисходящая ретикулярные системы ствола мозга составляют единый саморегулирующийся аппарат, обеспечивающий перераспределение тонуса и активации коры мозга в зависимости от уровня его функциональной активности в определенный период времени. При этом активирующие и тормозные влияния РФ затрагивают все сенсорные, двигательные, речемыслительные и иные функции мозга.

Второй ключевой структурой первого блока мозга, ответственной за поддержание энергетического статуса мозга, тонуса и активации коры, является нейронный аппарат гипоталамуса, регулирующий обменные процессы организма.

Третий энергетический источник связан с таламической системой, контролирующей поступление в мозг полимодальной информации. Сенсорные потоки вербальной и невербальной информации, во-первых, поддерживают активационные процессы и тонус коры, а, во-вторых, зрительный бугор морфофункционально тесно связан с лимбическим кругом Пейпеца, по которому происходит циркуляция энергетических импульсов, связанных с корой головного мозга [19, 25].

Восприятие любой информации вызывает реагирование в виде ориентировочного рефлекса, который по И.П. Павлову является важнейшим фактором познавательной деятельности, тесно связанным с работой как РФ, так и таламической системы мозга. Важным источником активации и поддержания тонуса коры мозга служит также речемыслительная деятельность человека, его ментальные планы и осмысление перспективы, которые формируются в процессе целенаправленной когнитивной деятельности.

Таким образом, в норме все уровни первого функционального блока мозга и все его энергетические источники тесно взаимосвязаны и работают во взаимодействии с высшими отделами коры. Они не только тонизируют кору, но и сами испытывают со стороны корковых отделов мозга модулирующие влияния, обеспечивая таким образом адекватный уровень когнитивного функционирования.

Когнитивный ресурс рассматривается в психофизиологии как общий фактор успешности решения когнитивных задач, который обеспечивает восприятие вербальной и невербальной образной информации, анализ и соотнесение воспринимаемой информации с хранящейся в долговременной памяти и принятие решения [6, 8, 9, 20]. Согласно активационной теории Ганса Айзенка уровень тонуса и активации мозга является центральным объяснительным моментом влияния индивидуальных различий на эффективность когнитивной деятельности [4, 25]. Закон Йеркса–Додсона устанавливает инвертированную U-образную зависимость между успешностью выполнения когнитивной задачи и уровнем тонуса и активации мозга. Оптимальным условием когнитивной успешности является некоторый средний уровень тонуса и активации коры мозга, что получило подтверждение в ранее проведенных нами исследованиях эффективности восприятия слуховой невербальной информации [7].

По данным Г. Айзенка, при недостаточной активации коры мозга количество ошибок у испытуемых при предъявлении когнитивных задач увеличивается в 3 раза по сравнению с пациентами с оптимальным уровнем тонуса и активации [4].

Известно, что окружающий мир, каким мы его знаем, базируется на наших когнитивных структурах, которые представляют собой неспецифические, но упорядоченные репрезентации предшествующего опыта. Сформированные в процессе индивидуального развития познавательные структуры поддерживают процессы когнитивной саморегуляции и внутренние механизмы самоконтроля. Процесс когнитивной саморегуляции предполагает развитие и совершенствование познавательных структур и понятий, которые являются продуктом научения. Функциональная роль системы когнитивной саморегуляции заключается в ее способности обеспечивать целесообразную деятельность в том направлении, которое мы считаем правильным в конкретных условиях. То есть мы ведем себя так, как предписывают наши когнитивные структуры. При этом когнитивные качества психически здорового индивида дают нам возможность управлять собственным поведением и обеспечивают многообразие межличностного взаимодействия и коррекцию неэффективных когнитивных схем [5].

При шизофрении и других формах психопатологии в результате дезорганизации физиологических механизмов нейрорегулятивного самоконтроля снижаются способности к когнитивной саморегуляции. Сформировавшаяся в ходе развития шизофренического процесса когнитивная система становится инвариантной, действует, нередко, автоматически, малодинамична и неспособна воспринимать опыт и приспосабливаться к меняющимся обстоятельствам. Утрачивается способность придерживаться стандартов поведения, действия пациента подчинены, скорее, внешним стимулам, чем механизмам познавательной саморегуляции [12].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования заключалась в ЭЭГ-оценке функционального состояния основных структур энергетического блока мозга и обосновании патогенетического значения нарушений нейродинамических компонентов деятельности в развитии когнитивного дефицита при психопатологии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обследовано 78 человек, из которых 40 пациентов, страдающих хронической параноидной шизофренией, ассоциированной с нейрорегулятивным дефицитом, и 38 здоровых испытуемых. Средний возраст лиц основной группы составил $37,7 \pm 3,3$ года, средняя длительность заболевания — 13,4 года, женщины составили 55%, мужчины — 45%. Контрольная группа состояла из 38 здоровых испытуемых, сопоставимых по возрасту, гендерному соотношению и социальному положению: средний возраст испытуемых составил $38,6 \pm 3,7$ лет, мужчины составили 52,6%, женщины — 47,4%.

В качестве основного метода исследования центральной нейродинамики и локальных динамических церебральных систем использовалась компьютерная электроэнцефалография. ЭЭГ регистрировали с помощью 21-канального аппаратно-программного комплекса «Телепат-1» отечественного производства с частотой дискретизации 400 Гц. Регистрация ЭЭГ осуществлялась монополярно по международной системе «10%-20%» от фронтальных (F3–F4), центральных (C3–C4), теменных (P3–P4), затылочных (O1–O2), передневисочных (F7–F8), средневисочных (T3–T4) и задневисочных (T5–T6) корковых зон. Референтным электродом служили объединенные ушные клипсы.

В постреальный период проводился визуальный и спектральный анализ безартефактных участков ЭЭГ, длительность которых устанавливалась экспериментально. Учитывая исключительную роль α -ритма в информационно-аналитической деятельности мозга, а также его тесную морфофункциональную связь с фронтоталамической системой — ключевой структурой первого блока мозга, осуществлялся детализированный анализ параметров альфа-частотного диапазона как одной из базовых регулирующих систем мозга. Анализировались как неспецифические физические параметры α -волнового процесса (индекс, частота и амплитуда), так и физиологические особенности α -осцилляций (регулярность, авторитмичность (модуляции) и стабильность α -ритма).

Функциональное состояние РФ определялось по параметрам латентных периодов синхронизации (в норме 0,4–1,0 с), десинхронизации (в норме 0,01–0,03) и глубины десинхронизации (в норме 5–6-кратная) в пробе «открыть глаза — закрыть глаза».

Тонус коры мозга определялся по соотношению частотных индексов альфа- и дельта-ритмов. В норме значения тонуса коры мозга варьируют в диапазоне 12–15. Индекс пароксизмальности оценивался по количеству вспышек в фоновой ЭЭГ. Более двух вспышек в минутном отрезке ЭЭГ-записи принято рассматривать как признак повышения степени пароксизмальности или снижения порога судорожной готовности мозга. Функциональная стабильность осцилляторной активности мозга оценивалась по степени устойчивости фоновой частоты альфа-ритма: колебания альфа-частоты, превышающие 0,5 Гц, расцениваются как признак нестабильности осцилляторной активности мозга [15, 16, 21, 22]. Для обработки данных ЭЭГ использовалось программное обеспечение WIN-EEG, версия 1.3, разработанная в Институте мозга человека РАН. Статистический анализ всех полученных данных проводился посредством пакета STATISTICA, версия 6.0. Достоверность полученных результатов оценивалась по t-критерию Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Функциональное состояние ключевых вертикально организованных отделов I ФБМ оценивалось дифференцированно с учетом их физиологической роли в поддержании

тонуса коры и уровня бодрствования. Сравнительная оценка нейродинамики мозга в основной и контрольной группах проводилась на основе компьютерной ЭЭГ как системного метода исследования мозга. Результаты ЭЭГ-исследования функционального состояния неспецифических систем, тонуса коры и порога судорожной готовности мозга представлены в таблице 1.

У испытуемых основной выборки латентный период десинхронизации при ОГ превышал нормативные значения в 2,3 раза ($p < 0,05$), а латентный период синхронизации оказался выше нормативных значений в 1,6 раза ($p < 0,05$). При этом глубина синхронизации у больных шизофренией оказалась в 1,22 раза ниже нормы. Совокупность полученных данных свидетельствует о нарушении функционального состояния восходящей активирующей и восходящей тормозящей систем ствола мозга.

Исходя из средних нормативных значений альфа-индекса у здоровых испытуемых 50–60% и нормативных значений дельта-индекса 4–5%, значение коэффициента тонуса и активации коры мозга составляют в норме 12,2. В проведенных нами исследованиях у испытуемых контрольной группы средние значения коэффициента тонуса и активации коры мозга составили 12,5, что соответствует физиологической норме. У испытуемых основной группы значения коэффициента тонуса коры мозга составили 4,5, что достоверно ниже нормативных значений в 2,3 раза ($p < 0,001$). Снижение базовых значений тонуса коры мозга создает предпосылки дезорганизации нейрофизиологических механизмов информационно-аналитической деятельности мозга.

Функциональное состояние понто-гипоталамического отдела мозга оценивалось по количеству вспышек, зарегистрированных в фоновой ЭЭГ. В норме количество вспышек на электроэнцефалограмме не превышает 2 за 1 минуту записи. У пациентов с психопатологией среднее количество вспышек составило 5,1 в минуту, что превышало нормативные значения контрольной группы в 2,5 раза ($p < 0,04$) и указывало на

тенденцию к умеренному, но достоверному повышению степени пароксизмальности мозга.

Учитывая исключительную роль α -ритма в информационно-аналитической деятельности мозга, а также его тесную морфофункциональную связь с фронтоталамической системой — ключевой структурой первого блока мозга, проведен детализированный анализ параметров альфа-частотного диапазона как одной из базовых регулирующих систем мозга.

Анализировались как неспецифические физические параметры α -волнового процесса (индекс, частота и амплитуда), так и физиологические особенности α -осцилляций (регулярность, авторитмичность (модуляции) и стабильность α -ритма).

Функциональный статус таламической системы мозга определялся на основе анализа основных параметров альфа-частотной регулирующей системы мозга: альфа-индекса (%), средней частоты (Гц) и амплитуды (мкВ) альфа-ритма, ширины альфа-диапазона (Гц), глубины десинхронизации ЭЭГ, регулярности альфа-ритма, модуляции и стабильности альфа-ритма.

Сравнительный анализ параметров α -ритма, представленный в таблице 2, отражает ФС ключевых когнитивных отделов мозга в норме и при патологии.

У лиц с психопатологией все параметры альфа-активности существенно изменены. Зональное снижение частоты α -ритма ниже 9,15 косвенно свидетельствует о дезинтеграции нейрофункциональных структур, играющих ключевую роль в работе мозга. Колебания частоты базового альфа-ритма, превышающие 0,5 Гц, указывают на нестабильность осцилляторной активности, обеспечивающей в головном мозге важнейшие регуляторные процессы.

Наряду с этим, на ЭЭГ выявлено увеличение в 2,5 раза ($p < 0,04$) количества вспышек, что указывает на тенденцию к повышению при шизофрении степени пароксизмальности головного мозга.

Таблица 1

Сравнительный анализ ключевых параметров нейродинамики у лиц основной и контрольной групп

Table 1

Comparative analysis of key parameters of neurodynamics in persons of the main and control groups

Показатели нейродинамики / Indicators of neurodynamics	Нормативные значения / Normative values	Основная группа / The main group	Контрольная группа / The control group
ЛП десинхронизации / LP desynchronization	0,01–0,03 с	0,07±0,002	0,02±0,012
ЛП синхронизации / LP synchronization	0,4–1,0 с	1,61±0,009	0,75±0,03
Коэффициент глубины десинхронизации / Depth factor desynchronization	5–6-кратное снижение / 5–6-times reducing	3–4-кратное снижение / 3–4-times reducing	5–6-кратное снижение / 5–6- times reducing
Коэффициент тонуса и активации коры 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 sec	5,1±0,85	1,8±0,25

Таблица 2

Сравнительный анализ фоновых параметров ЭЭГ альфа-ритма у лиц основной и контрольной групп

Table 2

Comparative analysis of background parameters of the EEG alpha rhythm in individuals of the main and control groups

Параметры α -ритма / α -rhythm parameters	Основная группа / The main group	Контрольная группа / The control group
Индекс, % / Index, %	38,6 $\pm$ 6,6	65,7
Частота, Гц / Frequency, Hz	8,8	10,1
Ширина альфа-диапазона, Гц / The width of the alpha range, Hz	7,2–12,1	8–13
Амплитуда, мкВ / Amplitude, μ V	49,8	62,2
Регулярность, Гц / Regularity, Hz	1,9	0,47
Модуляции / Modulations	--	+++
Стабильность / Stability	--	+++

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В современной нейропсихологии стратегия исследования ментальных ресурсов человека базируется на основе понимания мозга как глобальной нейродинамической системы, состоящей из множества нейронных сетей, режимы функционирования которых модулируются структурами I ФБМ. Анатомически нейросети состоят из множества нейронов различных мозговых модулей, взаимодействующих таким образом, чтобы в результате их функционирования создавался оптимальный когнитивный резерв, обеспечивающий целенаправленную познавательную и поведенческую активность индивида. Именно поэтому нейродинамическая система является основой для исследования нарушений психических процессов, механизмов развития когнитивного дефицита, негативной и позитивной симптоматики, наблюдаемой в рамках формирования шизофренического процесса и других психопатологических состояний [20].

Согласно двухкомпонентной модели, суммарная ЭЭГ рассматривается как результат взаимодействия синхронизирующей и десинхронизирующей систем мозга. На электроэнцефалограмме отражается активность нейронов коры, которые находятся под постоянным влиянием этих регулирующих систем мозга.

Функциональное состояние коры головного мозга определяется балансом реципрочно взаимодействующих десинхронизирующих и синхронизирующих субкортикальных структур. Скорость взаимодействия активирующих и тормозящих влияний РФ на корковые горизонтально организованные структуры мозга (II ФБМ и III ФБМ), определяемые по латентным периодам синхронизации и десинхронизации альфа-ритма, оказалась существенно сниженной. Достоверное увеличение латентных периодов при выполнении пробы на открывание и закрывание глаз в сочетании с неполным подавлением альфа-ритма у больных шизофренией указывают на нарушение функциональной сбалансированности десинхронизирующей (активирующей) и синхронизирующей (тормозящей) систем

ствола мозга. Снижение функционального состояния этих базовых модулирующих систем создает предпосылки для замедления скорости психических процессов.

У 10 испытуемых основной выборки (25%) на ЭЭГ регистрировались паттерны дизритмии, которые характеризовались бездоминантным сочетанием волн различных частотных диапазонов. Паттерны дизритмии обусловлены одновременным повышением активности синхронизирующей и десинхронизирующей систем. Такие нейродинамические состояния обычно проявляются выраженным когнитивным снижением.

Средние значения индекса α -ритма у испытуемых контрольной группы оказались в диапазоне нормативных значений — 65,7%. У лиц основной выборки средние значения альфа-индекса не превышали уровня 38,6%, что в 1,7 раза ниже, чем в группе здоровых испытуемых.

Уменьшение представленности в ЭЭГ доминирующего альфа-ритма как функционального ядра осцилляторной активности мозга правомерно трактовать как фактор, негативно влияющий на когнитивные функции. Любые нарушения в головном мозге морфологического или функционального характера приводят в первую очередь к снижению индекса α -ритма, обычно ниже уровня 50%, или полной его редукции.

Известно, что частота α -ритма является нейрофизиологическим условием и предпосылкой эффективности когнитивной деятельности, а ее замедление обусловлено дезорганизацией таламической системы мозга и нарушением кортикоталамических взаимодействий.

Показатели ширины α -диапазона и вариабельности его амплитуды являются маркерами нейродинамической пластичности, а следовательно, эффективности познавательной деятельности. В группе пациентов, страдающих шизофренией, данные показатели существенно отличаются от нормативных значений в сторону замедления и левостороннего частотного сдвига α -ритма.

Модуляции α -ритма являются важнейшим качественным критерием электроэнцефалограмм, относящихся к организо-



ванному альфа-типу. Наличие модуляций в состоянии относительного покоя свидетельствует об оптимальном взаимодействии трех регуляторных систем мозга: активирующей десинхронизирующей системы ствола мозга, синхронизирующей тормозной системы таламуса и нижних отделов моста, а также системы неокортикального контроля процессов десинхронизации и синхронизации [14].

Этот параметр ЭЭГ тонко отражает динамику ансамблевой организации корковой нейронной активности, объем и «время жизни» нейронного ансамбля, что является важной предпосылкой для нормального когнитивного функционирования мозга. В проведенных нами ЭЭГ-исследованиях у всех испытуемых основной выборки модуляции α -ритма либо полностью отсутствовали, либо носили непостоянный, фрагментарный характер.

Следовательно, снижение частоты, регулярности, отсутствие модуляций, нарушение процессов синхронизации–десинхронизации альфа-ритма свидетельствуют о дезорганизации альфа-регулирующей системы мозга, тесно связанной с первым функциональным блоком мозга. Выявленная нами многовекторная дезорганизация альфа-ритма имеет безусловное значение в механизмах развития когнитивного снижения при шизофрении, а также при других психопатологических состояниях.

Увеличение на ЭЭГ количества вспышек в 2,5 раза выше нормативных значений указывает на дисфункцию стволово-таламических отделов I ФБМ. Согласно современным представлениям, нейродинамическая структура, обуславливающая возникновение вспышек, формируется в результате снижения функционального состояния задних отделов гипоталамуса и стволовых структур и гиперактивации неспецифических и специфических ядер зрительного бугра [6, 25].

Таким образом, результаты приведенных нами исследований показывают, что у пациентов, страдающих шизофренией, имеет место функциональное снижение ключевых отделов первого блока мозга, обеспечивающих активационно-энергетические функции в деятельности головного мозга. Поскольку структуры I ФБМ детерминируют функцию внимания, индивидуальные перцептивные возможности, память и доступ к когнитивным ресурсам через регуляцию тонуса и активацию коры мозга и определяют, таким образом, эффективность когнитивного функционирования, то дезорганизация этих отделов мозга создает предпосылки снижения когнитивного ресурса.

Опыт работы с пациентами психоневрологического спектра показывает, что для них характерны интеллектуальная пассивность, неспособность к «психическому напряжению», отсутствие мотивов и целей в поведении, «атоничность» психики, благодушие, аспонтанность, расстройство внимания в сочетании с проявлением инертности, склонности к стереотипиям, фантазированию и рассуждательству. Наряду с этим у пациентов, страдающих шизофренией, ярко представлены странности мышления и поведения, неадекватность высказываний и действий.

Патофизиология этих психопатологических феноменов остается недостаточно изученной. Результаты проведенных нами исследований позволяют сделать вывод, что указанные нарушения в значительной степени определяются первичной дефектностью подкорковых систем, составляющих энергетическую основу психической деятельности. В терминах нейропсихологии совокупность указанных признаков характеризует нейрокognитивный дефицит, связанный с функциональным снижением энергетического блока мозга и снижением уровня бодрствования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные нами исследования выявили неизвестные ранее сведения о значении нарушений нейродинамических компонентов деятельности в развитии когнитивного дефицита при параноидной шизофрении, имеющие не только теоретическое, но и практическое значение. Установлено, что при психопатологии имеется многоуровневая дезорганизация I ФБМ, обеспечивающего весь спектр базовых нейродинамических процессов. Снижение активационно-энергетических и других нейродинамических составляющих работы мозга создает предпосылки к нарушению концентрации внимания, восприятия информации, ухудшению памяти, снижению скорости психических процессов. Дезорганизация этих составляющих когнитивного резерва неизбежно приводит к формированию глубокой когнитивной дефицитарности.

ВЫВОДЫ

1. Выявлены достоверные признаки дезорганизации неспецифических систем мозга: латентный период десинхронизации увеличен в 2,33 раза; латентный период перехода в регистр синхронизации увеличен в 2,14 раза, а коэффициент глубины десинхронизации снижен в 1,22 раза, что указывает на существенное нарушение активационных процессов коры мозга.

2. Показатели тонуса и энергетики коры головного мозга в основной выборке оказались в 2,8 раза ниже нормативных значений, что является объективным признаком снижения уровня бодрствования.

3. У пациентов с психопатологией выявлена умеренная, но достоверная тенденция к усилению пароксизмальной активности. Количество вспышек на ЭЭГ превышало нормативные значения в 2,5 раза, что указывает на снижение функционального состояния задних отделов гипоталамуса и ниже-стволовых структур при активации неспецифических и специфических ядер зрительного бугра.

Таким образом, ЭЭГ-исследование основных нейродинамических компонентов деятельности мозга, определяющих когнитивный ресурс и умственную работоспособность индивида, может оказаться весьма полезным в объективизации нарушений когнитивно-мыслительных функций и выборе патогенетически целесообразной терапии психопатологических расстройств.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. 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.

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

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

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. Thereby, 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.

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

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверин В.А. Психология личности. СПб.: Издательство Михайлова В.А.; 1999.
2. Агрис А.Р., Ахутина Т.В., Корнеев А.А. Варианты дефицита функций I блока мозга у детей с трудностями обучения. Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. 2014; 3: 34–6.
3. Агрис А.Р. Дефицит нейрофизиологических компонентов деятельности у детей с трудностями обучения. Автореф. дисс. ... канд. психол. наук. М.; 2015.
4. Айзенк Г.Ю. Психология: польза и вред. Смысл и бессмыслица. Факты и вымысел. Пер. с англ. Минск: Харвест; 2003.
5. Айзенк Г.Ю., Бартол К. Эксперимент. Самые жестокие исследования в психологии. Пер. с англ. М.: Алгоритм; 2021.
6. Бельская К.А., Лытаев С.А. Нейропсихологический анализ когнитивного дефицита при шизофрении. Физиология человека. 2022; 48(1): 46–56.
7. Бельская К.А., Суровицкая Ю.В., Лытаев С.А. Пространственно-временные ЭЭГ-маркеры опознания слуховых образов в норме и при психопатологии. Педиатр. 2016; 7(3): 49–55. DOI: 10.17816/PED73-49-55.
8. Визель Т.Г. Основы нейропсихологии. Теория и практика. 2-е изд. М.: АСТ; 2021.

9. Водолажский Г.И. Анализ динамики компонентов хронограммы церебральной активности человека в онтогенезе. Дисс. ... докт. биол. наук. Ставрополь; 2016.
10. Голдберг Э. Управляющий мозг: лобные доли, лидерство и цивилизация. Пер. с англ. М.: Смысл; 2003.
11. Гольдберг Э. Креативный мозг: как рождаются идеи, меняющие мир. Пер. с англ. М.: Эсмо; 2019.
12. Гусев А.Н. Психофизика сенсорных задач. Системно-деятельностный анализ поведения человека в ситуации неопределенности. М.: МГУ; 2004.
13. Дорофеева М.В. Структура и факторы развития когнитивных расстройств у больных шизофренией. Дисс. ... канд. мед. наук. СПб.; 2017.
14. Каплан А.Я., Борисов С.В., Шишкин С.Л., Ермолаев В.А. Анализ сегментной структуры альфа-активности человека. Росс. Физиол. Журн. им. И.М. Сеченова. 2002; 66(4): 432–42.
15. Кипятков Н.Ю., Дутов В.Б. Перспективы использования интегральных показателей компьютерной обработки ЭЭГ в структуре экспресс-анализа нейрокогнитивного статуса. Педиатр. 2014; 5(1): 44–8. DOI: 10.17816/PED5144-48.
16. Кипятков Н.Ю., Лытаев С.А., Дутов В.Б. Особенности расщепления детской ЭЭГ-теория и реальность. Медицина: теория и практика. 2019; 4: 249–50.
17. Колышко А.М. Психология самоотношения. Учеб. пособие. Гродно: ГрГУ; 2004.
18. Комчатнов П.Р., Умарова Х.Я., Чугунов А.В. Ведение больных с когнитивными нарушениями. Нервные болезни. 2015; 4: 18–22.
19. Лурия А.Р. Основы нейропсихологии. М.: Academia; 2002: 126–7.
20. Лытаев С.А., Александров М.В., Березанцева М.С. Психофизиология. Учебн. Пособие. СПб.: СпецЛит; 2018.
21. Мисюк Н.Н., Докукина Т.В. Картирование ЭЭГ в клинической практике. Минск: Книгосбор; 2008.
22. Оськина А.С., Уланова С.В., Кипятков Н.Ю. Когерентный анализ как метод сравнения ЭЭГ пациентов с органическим аффективным расстройством вследствие поражения правого полушария мозга с нормальной ЭЭГ. Forcipe. 2022; 5(S3): 535–6.
23. Павлов И.П. Лекции о работе больших полушарий головного мозга. М.: Изд-во «Э»; 2017.
24. Ухтомский А.А. Доминанта. СПб.: Питер; 2002.
25. Belskaya K., Lytaev S. Algorithm for Assessing Auditory Images Perception and Verbal Information. Advances in Intelligent Computing. 2021; 1201: 30–6.
26. Breier A. Cognitive deficit in schizophrenia and its neurochemical basis. Br. J. Psychiatry. 1999; 174: 8–16.
27. Diagnostic and statistical manual of mental diseases (DSM-V). London: American Psychiatric Association; 2013.

REFERENCES

1. Averin V.A. Psihologiya lichnosti. [Psychology of personality]. Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo Mihajlova V.A.; 1999. (in Russian).
2. Agris A.R., Akhutina T.V., Korneyev A.A. Varianty defitsita funktsiy I bloka mozga u detey s trudnostyami obucheniya. [Variants of deficit of functions of I block of the brain in children with learning difficulties].



- of functional deficits of the first block of the brain in children with learning difficulties]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 14. Psikhologiya*. 2014; 3: 34–6. (in Russian).
3. Agris A.R. Deficit neirofiziologicheskikh komponentov dejatel'nosti u detej s trudnostjami obucheniya. [Deficiency of neurophysiological components of activity in children with learning difficulties]. Avtoref. diss. ... kand. psihol. nauk. Moskva; 2015. (in Russian).
 4. Ajzenk G.Ju. Psihologija: pol'za i vred. Smysl i bessmyslica. Fakty i vymysel. [Psychology: Benefits and harms. Sense and nonsense. Fact and fiction]. Per. s angl. Minsk: Harvest Publ.; 2003. (in Russian).
 5. Ajzenk G.Ju., Bartol K. Jeksperiment. Samye zhestokie issledovaniya v psihologii. [Experiment. The most brutal research in psychology]. Per. s angl. Moskva: Algoritm Publ.; 2021. (in Russian).
 6. Bel'skaja K.A., Lytaev S.A. Nejropsihologicheskij analiz kognitivnogo deficita pri shizofrenii. [Neuropsychological analysis of cognitive deficits in schizophrenia]. *Fiziologija cheloveka*. 2022; 48(1): 46–56. (in Russian).
 7. Bel'skaja K.A., Surovickaja Ju.V., Lytaev S.A. Prostranstvenno-vremennyye EEG- markery opoznaniya sluhovyh obrazov v norme i pri psihopatologii. [Spatiotemporal EEG markers of auditory image recognition in normal conditions and in psychopathology]. *Pediatr*. 2016; 7(3): 49–55. DOI: 10.17816/PED73-49-55. (in Russian).
 8. Vizel' T.G. Osnovy nejropsihologii. Teoriya i praktika. [Fundamentals of neuropsychology. Theory and practice]. 2-e izd. Moskva: AST Publ.; 2021. (in Russian).
 9. Vodolazhskiy G.I. Analiz dinamiki komponentov khronogrammy tserebral'noy aktivnosti cheloveka v ontogeneze. [Analysis of the dynamics of the components of the chronogram of human cerebral activity in ontogenesis]. Diss. ... dokt. biol. nauk. Stavropol'; 2016. (in Russian).
 10. Goldberg Je. Upravljajushij mozg: lobnye doli, liderstvo i civilizacija. [The Executive Brain: The Frontal Lobes, Leadership and Civilization]. Per. s angl. Moskva: Smysl Publ.; 2003. (in Russian).
 11. Gol'dberg Je. Kreativnyj mozg: kak rozhajutsja idei, menjajushhie mir. [The Creative Brain: How World-Changing Ideas Are Born]. Per. s angl. Moskva: Jesmo Publ.; 2019. (in Russian).
 12. Gusev A.N. Psihofizika sensornyh zadach. Sistemno-dejatel'nostnyj analiz povedeniya cheloveka v situacii neopredelennosti. [Psychophysics of sensory tasks. System-activity analysis of human behavior in situations of uncertainty]. Moskva: MGU Publ.; 2004. (in Russian).
 13. Dorofejkova M.V. Struktura i faktory razvitiya kognitivnyh rasstrojstv u bol'nyh shizofreniej. [Structure and factors of development of cognitive disorders in patients with schizophrenia]. Diss. ... kand. med. nauk. Sankt-Peterburg; 2017. (in Russian).
 14. Kaplan A.Ja., Borisov S.V., Shishkin S.L., Ermolaev V.A. Analiz segmentnoj struktury al'fa-aktivnosti cheloveka. [Analysis of the segmental structure of human alpha activity]. *Russ. Fiziol. Zhurn. im. I.M. Sechenova*. 2002; 66(4): 432–42. (in Russian).
 15. Kipyatkov N.Yu., Dutov V.B. Perspektivy ispol'zovaniya integrativnyh pokazatelej komp'yuternoj obrabotki EEG v strukture ekspress-analiza nejrokognitivnogo statusa. [Prospects of using integrative indicators of computer EEG processing in the structure of express analysis of neurocognitive status]. *Pediatr*. 2014; 5(1): 44–8. DOI: 10.17816/PED5144-48. (in Russian).
 16. Kipyatkov N.Yu., Lytaev S.A., Dutov V.B. Osobennosti rasshifrovki detskoj EEG — teoriya i real'nost'. [Features of decoding children's EEG - theory and reality]. *Medicina: teoriya i praktika*. 2019; 4: 249–50 (in Russian).
 17. Kolyshko A.M. Psihologija samootnosheniya. [Psychology of self-attitude]. Ucheb. posobie. Grodno: GrGU Publ.; 2004. (in Russian).
 18. Komchatnov P.R., Umarova H.Ja., Chugunov A.V. Vedenie bol'nyh s kognitivnymi narushenijami. [Management of patients with cognitive impairment]. *Nervnye bolezni*. 2015; 4: 18–22. (in Russian).
 19. Lurija A.R. Osnovy nejropsihologii. [Basics of neuropsychology]. Moskva: Academia Publ.; 2002: 126–7. (in Russian).
 20. Lytaev S.A., Aleksandrov M.V., Berezanceva M.S. Psihofiziologija. [Psychophysiology]. Uchebn. Posobie. Sankt-Peterburg: SpecLit Publ.; 2018. (in Russian).
 21. Misjuk N.N., Dokukina T.V. Kartirovanie EEG v klinicheskoy praktike. [EEG mapping in clinical practice]. Minsk: Knigosbor Publ.; 2008. (in Russian).
 22. Os'kina A.S., Ulanova S.V., Kipyatkov N.Yu. Kogerentnyj analiz kak metod sravneniya eeg pacientov s organicheskim affektivnym rasstrojstvom vsledstvie porazheniya pravogo polushariya mozga s normal'noj EEG. [Coherent analysis as a method of comparing the EEG of patients with organic affective disorder due to damage to the right hemisphere of the brain with normal EEG]. *Forcipe*. 2022; 5(S3): 535–6. (in Russian).
 23. Pavlov I.P. Lekcii o rabotbol'shih polusharij golovnogogo mozga. [Lectures on the work of the cerebral hemispheres]. Moskva: Je Publ.; 2017. (in Russian).
 24. Uhtomskij A.A. Dominanta. [Dominant]. Sankt-Peterburg: Piter Publ.; 2002. (in Russian).
 25. Belskaya K., Lytaev S. Algorithm for Assessing Auditory Images Perception and Verbal Information. *Advances in Intelligent Computing*. 2021; 1201: 30–6.
 26. Breier A. Cognitive deficit in schizophrenia and its neurochemical basis. *Br. J. Psychiatry*. 1999; 174: 8–16.
 27. Diagnostic and statistical manual of mental diseases (DSM-V). London: American Psychiatric Association; 2013.