

EDN: JWDBNI

УДК 612.064

DOI: 10.56618/2071-2693_2025_17_3_7



НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХРОНИЧЕСКОЙ ИНСОМНИИ: РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛИСОМНОГРАФИИ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА В ПОКОЕ

Анастасия Александровна Боршевецкая¹

✉borshevetzkaya@yandex.ru, orcid.org/0000-0003-0613-7385

Геннадий Евгеньевич Труфанов¹

trufanovge@mail.ru, orcid.org/0000-0002-1611-5000

Юрий Владимирович Свиряев¹

yusvyr@yandex.ru, orcid.org/0000-0002-3170-0451

Валерия Всеволодовна Амелина¹

v.kemstach@icloud.com, orcid.org/0000-0002-0047-3428

Анастасия Михайловна Климович¹

vargina.anast@yandex.ru, orcid.org/0009-0003-4957-7695

Илья Тимофеевич Морев¹

iizegrimm@yandex.ru, orcid.org/0009-0006-8816-8159

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ул. Аккуратова, д. 2, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 197341)

Резюме

ВВЕДЕНИЕ. Хроническая инсомния – распространенное расстройство сна, характеризующееся затрудненным засыпанием, нарушением поддержания сна или ранними пробуждениями. Несмотря на клиническую значимость, диагностика инсомнии затруднена из-за несоответствия между субъективными жалобами и объективными показателями. В дополнение к полисомнографии (ПСГ), все большее внимание уделяется применению функциональной магнитно-резонансной томографии головного мозга, в том числе в состоянии покоя (фМРТп), как методу оценки нейрофизиологических изменений при инсомнии. Комбинированный анализ данных ПСГ, фМРТп и опросников позволяет выявить паттерны, отражающие некоторые звенья патогенеза данного расстройства.

ЦЕЛЬ. Проведение комплексной оценки объективных характеристик сна и функциональной активности головного мозга у пациентов с хронической инсомнией с использованием полисомнографии, функциональной МРТ в состоянии покоя и валидизированных сомнологических опросников, с выявлением нейрофизиологических особенностей расстройства и уточнения взаимосвязи между субъективными жалобами и объективными данными.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Обследованы 47 пациентов с хронической инсомнией, наблюдавшихся в Национальном медицинском исследовательском центре им. В. А. Алмазова (Санкт-Петербург). Всем проводилась однократная ночная ПСГ (аппараты Embla N7000 и SOMNO HD) с анализом по стандартам Американской академии медицины сна (American Academy of Sleep Medicine, AASM 2.5), а также структурная и функциональная МРТ на томографе с индукцией магнитного поля 3,0 Тесла. Обработка фМРТ осуществлялась в MathLab R2024b, CONN v22.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Пациенты с хронической инсомнией имели более высокие баллы по шкалам ISI, PSQI и ESS по сравнению с группой контроля ($p < 0,001$), что отражает выраженные субъективные жалобы на качество сна. Однако, вопреки ожиданиям, по данным ПСГ, у пациентов с инсомнией эффективность и продолжительность сна были выше, а латентность ко сну, количество микропробуждений и время бодрствования после засыпания ниже ($p < 0,05$), что может указывать на феномен ложной бессонницы.

По данным фМРТ покоя, у пациентов с инсомнией выявлено усиление связности в сети пассивного режима, а также активности сенсомоторной коры в вечернее время, а также усиление активности языковой и исполнительных сетей утром, что отражает дисрегуляцию процессов засыпания и бодрствования и подчеркивает необходимость комплексного подхода к диагностике хронических нарушений сна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Результаты исследования демонстрируют несоответствие между субъективными жалобами и объективными параметрами сна при хронической инсомнии, что может указывать на феномен ложной бессонницы. Изменения функциональной активности головного мозга подтверждают наличие хронической гиперактивации и подчеркивают необходимость использования комплексного подхода к диагностике и лечению данного расстройства.

Ключевые слова: инсомния, бессонница, парадоксальная инсомния, нарушения сна, полисомнография, магнитно-резонансная томография, функциональная магнитно-резонансная томография

Для цитирования: Боршевецкая А. А., Труфанов Г. Е., Свиряев Ю. В., Амелина В. В., Климович А. М., Морев И. Т. Нейрофизиологические особенности хронической инсомнии: результаты полисомнографии и функциональной магнитно-резонансной томографии головного мозга в покое // Российский нейрохирургический журнал им. проф. А. Л. Поленова. 2025. Т. XVII, № 3. С. 7–19. DOI: 10.56618/2071-2693_2025_17_3_7.

CHRONIC INSOMNIA NEUROPHYSIOLOGICAL ASPECTS: PSG AND RESTING-STATE FMRI DATA

Anastasia A. Borshevetskaya¹

✉borshevetskaya@yandex.ru, orcid.org/0000-0003-0613-7385

Gennadiy E. Trufanov¹

trufanovge@mail.ru, orcid.org/0000-0002-1611-5000

Yurii V. Sviryaev¹

yusvyr@yandex.ru, orcid.org/0000-0002-3170-0451

Valeria V. Amelina¹

v.kemstach@icloud.com, orcid.org/0000-0002-0047-3428

Anastasia M. Klimovich¹

vargina.anast@yandex.ru, orcid.org/0009-0003-4957-7695

Ilya T. Morev¹

iizegrimm@yandex.ru, orcid.org/0009-0006-8816-8159

¹ Almazov National Medical Research Centre (2 Akkuratova street, St. Petersburg, Russian Federation, 197341)

Abstract

INTRODUCTION. Chronic insomnia is a common sleep disorder characterized by difficulty initiating or maintaining sleep, as well as early morning awakenings. Despite its clinical significance, diagnosis remains challenging due to discrepancies between subjective complaints and objective sleep parameters. In addition to polysomnography (PSG), resting-state functional magnetic resonance imaging (rs-fMRI) has recently gained increasing attention allowing it to assess neurophysiological changes associated with insomnia. A comprehensive assessment of chronic insomnia pathophysiology including PSG, rs-fMRI, and validated sleep questionnaires may become the key to developing personalized approach to diagnosis and treatment.

AIM. The study aims to conduct a comprehensive assessment of objective sleep characteristics and brain functional activity in patients with chronic insomnia using polysomnography, resting-state functional MRI, and validated sleep questionnaires, in order to identify neurophysiological features of the disorder and clarify subjective complaints and objective findings correlation.

MATERIALS AND METHODS. Current study included 47 patients diagnosed with chronic insomnia after a somnologist appointment at Almazov National Medical Research Centre (St. Petersburg). All participants underwent single-night PSG using Embla N7000 (Natus, USA) and SOMNO HD (SOMNOmedics, Germany) devices, with scoring performed according to AASM 2.5 criteria. Structural and functional MRI scans were performed at 3.0 T. Functional data was analyzed using MathLab R2024b and CONN toolbox.

RESULTS. Patients with chronic insomnia demonstrated significantly higher scores on ISI (Insomnia Severity Index), PSQI (Pittsburgh Sleep Quality Index), and ESS (Epworth Sleepiness Scale) compared to the control group ($p < 0.001$), indicating pronounced subjective sleep complaints. However, contrary to expectations, polysomnographic data revealed better sleep parameters among insomnia patients, including higher sleep efficiency and longer total sleep duration, along with shorter sleep latency, fewer microarousals, and reduced wake time after sleep onset ($p < 0.05$). These findings suggest sleep-state misperception (paradoxical insomnia) in a subset of patients. Resting-state fMRI revealed increased connectivity within the default mode network and heightened sensorimotor cortex activity in the evening, along with enhanced activation of language and executive networks in the morning. These findings reflect dysregulation of sleep-wake transitions and underscore the need for a comprehensive approach to the diagnosis of chronic sleep disorders.

CONCLUSION. The study findings indicate a discrepancy between subjective complaints and objective sleep parameters in chronic insomnia, suggesting the presence of sleep-state misperception (paradoxical insomnia). Altered brain functional activity supports chronic hyperarousal and highlights the importance of a comprehensive approach to diagnosis and treatment of this disorder.

Keywords: insomnia, sleep disorders, polysomnography, connectome, resting-state fMRI, functional magnetic resonance imaging

For citation: Borshevetskaya A. A., Trufanov G. E., Sviryaev Yu. V., Amelina V. V., Klimovich A. M., Morev I. T. Chronic insomnia neurophysiological aspects: PSG and resting-state fMRI data. Russian neurosurgical journal named after professor A. L. Polenov. 2025;XVII(3):7–19. (In Russ.). DOI: 10.56618/2071-2693_2025_17_3_7.

Введение

Хроническая инсомния – одно из наиболее распространенных расстройств сна, встречающееся среди 10 % взрослого населения во всем мире [1]. Помимо снижения качества жизни и продуктивности, инсомнии присущи серьезные последствия для здоровья: повышенный риск развития тревожно-депрессивных расстройств, нарушений сердечно-сосудистой системы и нейродегенеративных заболеваний. В Российской Федерации распространенность хронической инсомнии находится примерно на таком же уровне [2, 3], что подчеркивает важность изучения ее механизмов и поиска эффективных методов диагностики и терапии.

Исследование М. В. Тардова и др. (2024) [3] выявило, что хроническая инсомния часто сопутствует тревожно-депрессивным расстройствам как самостоятельный коморбидный феномен. Для пожилых пациентов значимыми становятся социокультурные и поведенческие факторы, такие как хронический стресс и нарушения режима сна, влияющие на проявления инсомнии.

В последние годы значительный интерес вызывает изучение нейрофизиологических механизмов гиперактивации и микроструктурных изменений сна, особенно в REM-фазе. В исследовании Riemann et al. (2025) [4] подчеркивается, что «устойчивое состояние гиперактивации на когнитивном, эмоциональном, кортикальном и/или физиологическом уровнях рассматривается в большинстве современных теорий как ключевой механизм патофизиологии инсомнии», а также отмечается, что нестабильная REM-фаза сна может выступать ключевым механизмом, связующим диссонанс между субъективными жалобами пациентов и объективными показателями полисомнографии (ПСГ). С другой стороны, по данным исследования Li et al. 2022 [5], нейровизуализация, включая функциональную магнитно-резонансную томографию головного мозга, в том числе в состоянии покоя (фМРТп), позволяет выявлять изменения в функциональном контексте и структурах мозга, например, снижение объема серого вещества в инселе и нарушенные связи в сети. Это дает надежду на разработку мультидисциплинарных диагностиче-

ских моделей и персонифицированных терапевтических стратегий для пациентов с хронической инсомнией.

Хроническая инсомния рассматривается как мультифакторное расстройство, включающее в себя когнитивные, эмоциональные и физиологические компоненты [6–8]. На текущем этапе развития сомнологии выделяются следующие ключевые механизмы патогенеза:

1) гиперактивация (hyperarousal). Доминирующей моделью является гиперактивация на когнитивном, эмоциональном, кортикальном и физиологическом уровнях. Пациенты с инсомнией демонстрируют повышенные уровни возбудимости, что нарушает переход ко сну и его устойчивость;

2) фрагментация REM-сна и эмоциональная дисрегуляция. Нарушения микроархитектуры сна, особенно нестабильность REM-фазы, рассматриваются как центральный патофизиологический механизм. Фрагментированный REM-сон приводит к тому, что активность головного мозга становится ближе к состоянию бодрствования, усиливая сознательное переживание сна и пробуждений. Поскольку REM-сон участвует в регуляции эмоций, его нестабильность связывают с частым развитием тревожно-депрессивных симптомов при инсомнии [9];

3) расхождение субъективных ощущений и объективных показателей. По данным последнего исследования с использованием ПСГ и спектрального анализа, пациенты с инсомнией часто не демонстрируют значимых отклонений в стандартных параметрах ПСГ, однако субъективно воспринимают сон как некачественный. Это подчеркивает важность учета состояния мозга перед пробуждением: усиление кортикальной активности (например, в высокочастотном диапазоне) ассоциируется с ложным ощущением бодрствования;

4) комплексная модель взаимодействия механизмов. Современные концепции интегрируют гиперактивацию, REM-нестабильность и эмоциональную дисрегуляцию в единую модель, где:

– повышенная кортикальная активация приводит к фрагментации сна;

– нарушения сна ухудшают эмоциональную регуляцию и усугубляют тревожные и депрессивные симптомы;

– эмоциональные расстройства, в свою очередь, поддерживают гиперактивацию, формируя порочный круг инсомнии [10];

5) коморбидность и социально-клинические факторы.

Таким образом, современные взгляды на патогенез хронической инсомнии акцентируют внимание на устойчивой гиперактивации различных уровней регуляции, нарушениях архитектуры REM-сна с последующей эмоциональной дисрегуляцией, а также на феномене несоответствия между субъективной оценкой и объективными показателями сна. Дополнительное значение придается коморбидным психическим состояниям и влиянию социально-поведенческих факторов. Совокупность этих данных позволяет рассматривать инсомнию как сложное расстройство, формирующееся на пересечении нейрофизиологических, психологических и социокультурных процессов, что обосновывает целесообразность применения междисциплинарного подхода к ее исследованию и лечению.

Цель исследования – проведение комплексной оценки объективных характеристик сна и функциональной активности головного мозга у пациентов с хронической инсомнией с использованием полисомнографии, функциональной МРТ в состоянии покоя и валидизированных сомнологических опросников, с выявлением нейрофизиологических особенностей расстройства и уточнения взаимосвязи между субъективными жалобами и объективными данными.

Материалы и методы

В настоящее исследование включены 47 пациентов в возрасте от 20 до 77 лет, обратившихся к сомнологу Национального медицинского исследовательского центра им. В. А. Алмазова (Санкт-Петербург).

Все пациенты были проконсультированы врачом-сомнологом с проведением тестирования по шкалам; после им была выполнена полисомнография, функциональная МРТ в состоянии покоя, МРТ головного мозга в вечерние часы, 18:00–19:00, а также фМРТп утром после пробуждения, 8:00–10:00.

Пациенты были разделены на две группы:

группа 1: пациенты с хронической инсомнией – 23 (49 %) человека, средний возраст – $(40,8 \pm 15,3)$ года;

группа 2: здоровые добровольцы – 24 (51 %) человека, средний возраст – $(49,3 \pm 17,5)$ года.

Критериями включения в группу 1 были жалобы на нарушение засыпания, поддержание сна (ночные и (или) ранние пробуждения) 3 и более раз в неделю на протяжении 3 и более месяцев, нарушающие дневное самочувствие.

Были исключены лица с выраженными острыми или хроническими соматическими заболеваниями, онкологическими процессами, наличием противопоказаний к проведению МРТ, а также пациенты, получающие психотропную терапию.

В контрольную группу ($n=24$) были включены участники, не предъявляющие жалоб на нарушения засыпания и поддержания сна и не имеющие факторов, препятствующих участию в исследовании.

Критериями невключения служили тяжелые психические расстройства, выраженные когнитивные нарушения, а также тяжелые соматические заболевания, включая онкологические процессы и состояния в стадии декомпенсации или терминальной фазе.

Методика выполнения полисомнографии. Полисомнографическое исследование проводили в ночное время с применением диагностических комплексов Embla N7000 (Natus, США) и SOMNO HD (SOMNOmedics, Германия), сертифицированных для клинического использования.

В ходе исследования регистрировали следующие параметры: электроэнцефалография (ЭЭГ), электромиография подбородка и нижних конечностей, электрокардиограмма (ЭКГ), электроокулограмма (ЭОГ), дыхательные движения грудной и брюшной стенки, поток воздуха через нос и рот, насыщение крови кислородом (SpO_2), положение тела и храп.

Анализ и интерпретацию данных проводили в соответствии с актуальными критериями Американской академии медицины сна (American Academy of Sleep Medicine, AASM), включая оценку фазовой структуры сна, латентности ко сну, эффективности сна, количе-

ства пробуждений, индекс «апноэ – гипопноэ» (АНИ), частоту микропробуждений и параметры двигательной активности [11].

Методика проведения магнитно-резонансной томографии. Комплексную МРТ проводили на томографе с силой индукции магнитного поля 3 Тесла, с применением специальной радиочастотной катушки для головы Head Coil, включая:

- традиционную МРТ в трех взаимно перпендикулярных плоскостях (T1-, T2-, TIRM, MPRAGE – Magnetization Prepared Rapid Acquired Gradient Echoes – градиентное эхо с подготовкой магнетизации и быстрым сбором, для совмещения данных фМРТ с анатомическими структурами головного мозга);

- функциональную МРТ в состоянии покоя (resting-state) (для оценки изменений рабочих сетей головного мозга, объема участков активации, положительно или отрицательно связанных с выбранной зоной).

Протокол фМРТ в состоянии покоя выполняли в двух временных точках – вечером перед сном и утром после пробуждения.

Постпроцессинг полученных МР-данных выполняли с помощью программного обеспечения Conn v.22.a на базе MatLab.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программного пакета IBM SPSS Statistics. Для описательной статистики применяли методы расчета средних значений, стандартного отклонения, медианы и межквартильного размаха. Проверку распределения данных осуществляли с помощью критерия Шапиро – Уилка. Для сравнения групп использовали t-критерий Стьюдента или U-критерий Манна – Уитни в зависимости от характера распределения. Корреляционный анализ выполняли с применением коэффициентов Пирсона и Спирмена. Уровень статистической значимости устанавливался на уровне $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Современные стандарты оценки нарушений сна предполагают использование как объективных методов (полисомнография, актиграфия), так и валидизированных опросников, от-

ражающих субъективное восприятие сна пациентом. Особенно при хронической инсомнии часто наблюдается расхождение между субъективными жалобами и объективными параметрами, что делает шкалы важной частью диагностического алгоритма.

Наиболее широко применяются три инструмента: ISI (Insomnia Severity Index, индекс тяжести инсомнии) – для оценки выраженности симптомов инсомнии; ESS (Epworth Sleepiness Scale, Эпвортская шкала сонливости) – для диагностики патологической дневной сонливости; PSQI (Pittsburgh Sleep Quality Index, Питтсбургский опросник качества сна) – для комплексной оценки качества сна.

Каждый из этих опросников имеет четкую структуру, стандартизированную шкалу баллов и доказанную клиническую значимость. Их использование позволяет не только выявлять расстройства сна, но и оценивать степень их влияния на повседневную активность и качество жизни, а также отслеживать эффективность терапии. Комбинированный подход с опросниками ISI, ESS и PSQI обеспечивает надежную основу для комплексной диагностики инсомнии, особенно при отсутствии явных нарушений по данным инструментальных методов.

В настоящем исследовании баллы по шкалам ISI, PSQI и ESS были достоверно выше в группе инсомнии ($p < 0,05$), что отражает выраженное субъективное восприятие нарушений сна у этих пациентов по сравнению со здоровыми участниками (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительная характеристика субъективных показателей по группам
Table 1. Comparative characteristics of subjective indicators in patient and control groups

Опросник	Группа инсомнии (n=23), баллы	Контрольная группа (n=24), баллы	p
ISI	(18,2±4,5)	(4,1±1,7)	<0,001
PSQI	(10,5±2,1)	(3,6±1,5)	<0,001
ESS	(8,4±2,9)	(5,7±2,3)	0,01

Известно, что ПСГ является «золотым стандартом» в оценке структуры и качества сна и широко используется как в клинической практике, так и в научных исследованиях. Метод

позволяет одновременно регистрировать множество физиологических параметров во время сна, включая электроэнцефалограмму, электромиограмму, электроокулограмму, респираторные потоки и насыщение крови кислородом. Это дает возможность точно определить не только стадии сна и его архитектуру, но и выявить скрытые нарушения, такие как апноэ, гипопноэ, микропробуждения и фрагментации фаз сна. Особенно важна ПСГ при исследовании хронической инсомнии, где объективные показатели могут не соответствовать субъективным жалобам пациента, а потому требуется детальный и количественный анализ параметров сна.

Основное внимание при анализе результатов ПСГ уделялось следующим ключевым показателям: эффективность сна (в процентах), отражающая соотношение времени сна ко времени в кровати; латентность ко сну (в минутах) – время от выключения света до наступления первой стадии сна; общая продолжительность сна (в минутах); время бодрствования после начала сна (WASO, в минутах) – как индикатор фрагментированности сна, а также индекс микропробуждений, характеризующий частоту кратковременных переходов в состояние бодрствования в течение ночи (табл. 2).

Несмотря на статистически значимые различия между группами по данным сомнологических опросников, с точки зрения полисомнографических показателей наблюдается несоответствие между субъективными жалобами и объективной структурой сна. В частности, в группе инсомнии эффективность сна оказалась выше, чем в контрольной, несмотря на более высокие субъективные оценки нарушений. Это может свидетельствовать о наличии у ча-

сти пациентов с инсомнией феномена «ложной бессонницы», или парадоксальной инсомнии, при котором клиническая симптоматика не подтверждается выраженными объективными нарушениями сна.

Подобное расхождение между субъективной и объективной оценкой сна описано в ряде работ, включая исследование Young et al. (1997), предлагающих рассматривать парадоксальную инсомнию как отдельный подтип хронической инсомнии, а также в более ранних работах, подчеркивающих нейрофизиологические особенности и повышенную кортикальную активность у таких пациентов [12].

Rezanie et al. (2018) указывают, что субъективно воспринимаемая тяжесть инсомнии может сохраняться при нормальных или пограничных ПСГ-показателях. Кроме того, исследование Fernandez-Mendoza et al. (2011) [13] демонстрирует, что пациенты с нормальной объективной длительностью сна, но с высокой тревожностью, чаще переоценивают выраженность своих нарушений сна.

Таким образом, паттерн сна при хронической инсомнии сочетает относительное сохранение объективных характеристик, таких как общее время сна или структура фаз, с выраженной микрофрагментацией и кортикальной гиперактивацией, что делает комбинированный анализ макро- и микроструктур необходимым для полной характеристики данного расстройства.

Магнитно-резонансная томография и функциональная МРТ в состоянии покоя играют важную роль в современных подходах к исследованию хронической инсомнии, дополняя традиционные методы оценки сна. Структурная МРТ позволяет исключить органическую па-

Таблица 2. Сравнительная характеристика параметров полисомнографии по группам

Table 2. Comparative characteristics of polysomnographic parameters in patient and control groups

Параметр	Группа инсомнии (n=23)	Контрольная группа (n=24)	p
Эффективность сна, %	(78,4±4,3)	(72,3±2,7)	<0,007
Латентность ко сну, мин	(33,0±8,3)	(44,23±13,2)	<0,001
Продолжительность сна, мин	(388,9±24,6)	(370,7±12,9)	0,028
Продолжительность времени бодрствования после начала сна, мин	(73,6±16,6)	(85,9±12,7)	0,002
Индекс микропробуждений	(11,7±3,0)	(14,6±2,3)	<0,001

тологию головного мозга, которая может имитировать или усугублять клиническую картину нарушений сна. Функциональная МРТ, в свою очередь, дает возможность оценить активность и взаимосвязь нейрональных сетей в состоянии покоя, особенно в зонах, участвующих в регуляции сна, бодрствования, эмоций и внимания.

По результатам структурной МРТ (T1- и T2-взвешенные изображения, FLAIR) у пациентов обеих групп не выявлено значимых отклонений: не отмечалось признаков органических поражений, выраженной атрофии, объемных образований или постишемических изменений. Это позволило исключить влияние грубой церебральной патологии на показатели сна и когнитивного функционирования.

Функциональная МРТ покоя проводилась с целью оценки нейросетевой активности и функциональной связности сетей головного мозга. В исследовании нарушений сна ключевыми зонами интереса являются таламус, префронтальная кора, поясная извилина, островковая кора и компоненты сетей режима по умолчанию и сети выявления значимости.

Эти структуры вовлечены в регуляцию цикла «сон – бодрствование», обработку сенсорной информации, внутреннее внимание и эмоциональные реакции. Таламус и корковые проекции формируют таламокортикальную петлю, ответственную за генерацию ритмов сна, тогда как дисфункция DMN и гиперактивация сети значимости (SN) отражают ментальную гиперактивацию и тревожность, характерные для хронической инсомнии. Выбор этих зон позволяет комплексно оценить нейрофизиологические механизмы расстройства (табл. 3).

Из данных табл. 3 следует, что анализ функциональных сетей мозга по данным фМРТ покоя требует включения множества нейрональных систем в изучение регуляции сна. Сеть пассивного режима, ответственная за внутренний ментальный покой, и таламокортикальная система, обеспечивающая переход между фазами сна и бодрствования, играют ключевую роль в инициации и поддержании сна. Нарушение их активности у пациентов с хронической инсомнией указывает на неспособность мозга к полноценной релаксации. Гиперактивность сети значимости и лимбической

Таблица 3. Зоны интереса при данным функциональной МРТ покоя

Table 3. Regions of interest based on resting-state fMRI data

Функциональная сеть головного мозга	Анатомический субстрат	Функция
Сеть пассивного режима работы мозга (Default Mode Network, DMN)	Медиальная префронтальная кора, задняя поясная извилина, угловая извилина, гиппокамп	Регуляция процессов саморефлексии и внутреннего ментального покоя. У пациентов с хронической инсомнией нарушение ее активности и связности может отражать снижение способности к ментальному расслаблению и переходу в состояние сна
Сеть значимости (Salience Network, SN)	Передняя островковая кора, передняя поясная извилина	Обработка внутренней и внешней сенсорной информации, определяя её поведенческую значимость. Гиперактивность этой сети при хронической инсомнии может свидетельствовать о повышенном уровне тревожности и устойчивом состоянии
Центральная исполнительная сеть (Central Executive Network, CEN)	Дорсолатеральная префронтальная кора, латеральная теменная кора	Когнитивный контроль и управление рабочей памяти. Изменения активности компонентов сети могут быть связаны с когнитивными нарушениями при хронической бессоннице
Таламокортикальная система (Thalamocortical Network)	Таламус, префронтальная, сенсомоторная, височная, островковая, затылочная кора и кора поясной извилины	Генерация и поддержание фаз сна, включая дельта-волны, а ее дисфункция при инсомнии может приводить к нарушению нормального архитектурного перехода между фазами сна и бодрствования
Лимбическая система	Миндалевидное тело, гиппокамп	Регуляция эмоций и памяти. Гиперактивация миндалины часто выявляется при тревожно-депрессивных состояниях, сопровождающих хроническую инсомнию
Гипоталамические области	Вентролатеральное преоптическое ядро, латеральные отделы гипоталамуса	Индукция сна и подавление бодрствующих систем, нарушения его функционирования связаны с первичной инсомнией

Таблица 4. Зависимость функциональных связей заднего отдела поясной извилины (DMN) в группе инсомнии по сравнению с контрольной группой в вечерней контрольной точке

Table 4. Functional connectivity of posterior cingulate cortex (DMN) in insomnia group compared to control group evening control time point

Зона интереса	T-критерий	p-uncorrected	p-FDR
Полюс затылочной доли справа	3,36	0,002	0,932
Полюс затылочной доли слева	2,88	0,003	0,917
Зрительная кора затылочной доли	3,14	0,003	0,939

системы отражает повышенную тревожность и эмоциональную возбудимость, а изменения в центральной исполнительной сети могут объяснять когнитивные трудности при бессоннице. Важнейшее значение также имеют гипоталамические структуры, регулирующие индукцию сна и отключение систем бодрствования. Эти данные подчеркивают полисистемный характер расстройств сна и необходимость комплексного подхода к их оценке.

У пациентов с хронической инсомнией выявлены характерные изменения в работе систем, связанных с регуляцией эмоций и бодрствования, в частности, усиление связности в составе DMN (табл. 4; 5).

Усиление связности в составе DMN у пациентов с хронической инсомнией может отражать трудности в подавлении внутренней умственной активности и руминативного мышления, что препятствует переходу ко сну. Эта нейросеть активна в состоянии покоя и саморефлексии, и ее гиперактивация связана с невозможностью «отключить» сознание перед сном, типичной для инсомнии.

Также отмечалось усиление функциональной коннективности сенсомоторной коры, что может быть связано с повышенной тревожностью, нарушением расслабления и склонностью к микропробуждениям (табл. 6).

При этом статистически значимых различий пациентов с инсомнией с контрольной группой с позиции отклонений в функциональной связности сети выявления значимости (SN), центральной исполнительной сети

Таблица 5. Зависимость функциональных связей медиальных отделов теменной доли (предклиновидная кора, входит в состав DMN) в группе инсомнии по сравнению с контрольной группой в вечерней контрольной точке

Table 5. Functional connectivity of the medial parietal cortex (precuneus, part of the DMN) in insomnia group compared to control group. Evening control time point

Зона интереса	T-критерий	p-uncorrected	p-FDR
Полюс затылочной доли справа	2,89	0,003	0,918
Полюс затылочной доли слева	2,88	0,003	0,918
Зрительная кора затылочной доли	3,14	0,002	0,918

Таблица 6. Зависимость функциональных связей сенсомоторной коры (входит в состав таламокортикальной системы) в группе инсомнии по сравнению с контрольной группой в вечерней контрольной точке

Table 6. Functional connectivity of the sensorimotor cortex (part of the thalamocortical system) in insomnia group compared to control group evening control time point

Зона интереса	T-критерий	p-uncorrected	p-FDR
Средняя височная извилина справа	4,02	0,001	0,915

(CEN), лимбической системы и гипоталамуса в вечерней контрольной точке не отмечалось ($p > 0,005$).

Дополнительно выявлено усиление коннективности фронтопарietальной сети, которая является частью высокоуровневых исполнительных и когнитивных систем мозга, с различными отделами мозжечка (табл. 7).

Таблица 7. Зависимость функциональных связей фронтопарietальной коры в группе инсомнии по сравнению с контрольной группой в вечерней контрольной точке

Table 7. Functional connectivity of the frontoparietal cortex in insomnia group compared to control group. Evening control time point

Зона интереса	T-критерий	p-uncorrected	p-FDR
Верхняя ножка мозжечка справа	2,92	0,003	0,917
Задняя сеть мозжечка (верхние и средние ножки, доли VI, VIIb, IX)	3,23	0,001	0,917

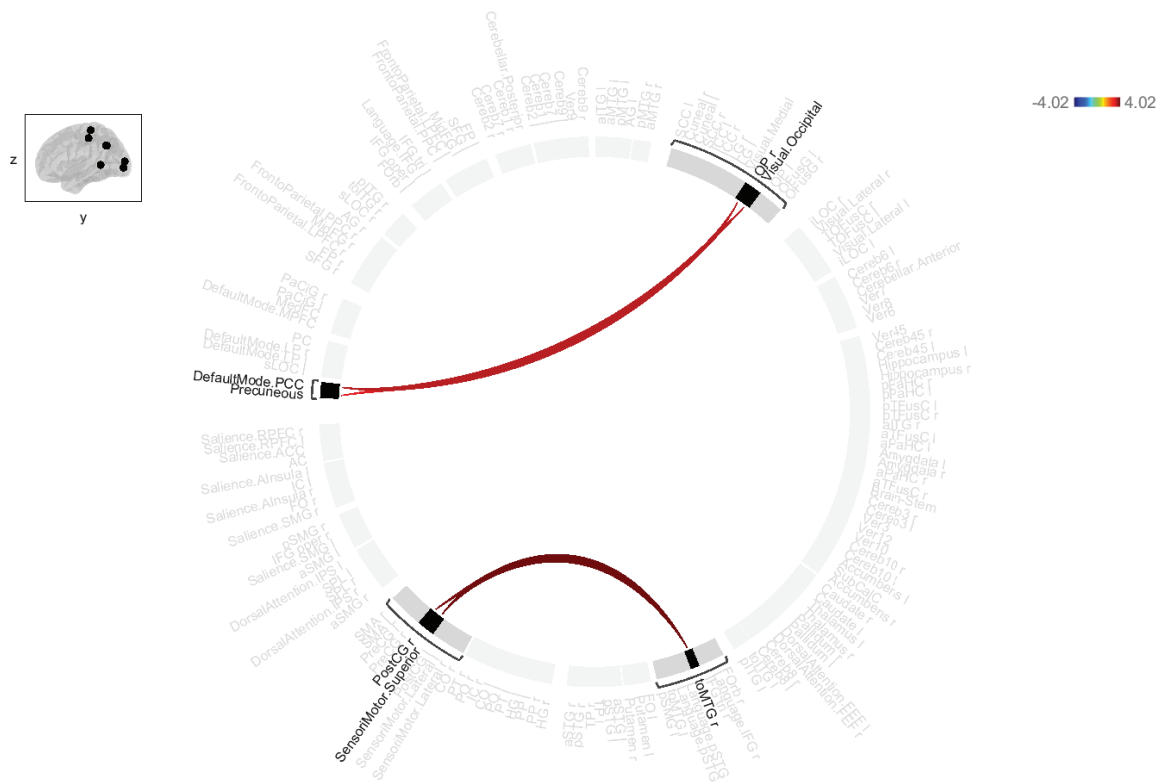


Рис. 1. Коннектограмма группы инсомнии в сравнении с контрольной группой. Вечерняя контрольная точка. Оттенками красного цвета отмечены функциональные связи, усиленные по сравнению с контрольной группой

Fig. 1. Connectogram of insomnia group compared to control group at evening control time point. Enhanced functional connections are marked in shades of red

Таким образом, у пациентов с хронической инсомнией в вечерней контрольной точке зафиксированы нейрофизиологические изменения, отражающие нарушение механизмов расслабления и подготовки ко сну: отмечено усиление связности в сети режима по умолчанию и сенсомоторной коры. Это может свидетельствовать о сохраняющейся гиперактивации при попытке засыпания. Несмотря на отсутствие статистически значимых изменений в сети значимости, центральной исполнительной сети, лимбической системе и гипоталамусе в вечерние часы, усиление связности фронто-париетальной сети с мозжечком указывает на вовлеченность когнитивных и моторных регуляторных цепей в патогенез инсомнии (рис. 1).

Ослабление функциональной связности сенсомоторной коры с базальными ядрами (в частности, со скорлупой) и корой нижней части лобной извилины у пациентов с хронической инсомнией может отражать нарушение процессов интеграции сенсомоторной информации и регуляции двигательной активности, особенно в условиях перехода ко сну (табл. 8).

Таблица 8. Зависимость функциональных связей сенсомоторной коры в группе инсомнии по сравнению с контрольной группой в вечерней контрольной точке

Table 8. Functional connectivity of the sensorimotor cortex in insomnia group compared to control group evening control time point

Зона интереса	Т-критерий	p-uncorrected	p-FDR
Скорлупа справа	-3,04	0,001	0,891
Скорлупа слева	-3,32	0,002	0,891
Нижняя часть лобной извилины	-3,06	0,002	0,891

Дополнительно выявлено ослабление функциональных связей зрительной сети, в частности, между задними отделами мозжечка и затылочной корой, а также с поясной корой (рис. 2).

Выявленные в вечерней контрольной точке изменения функциональной связности у пациентов с хронической инсомнией свидетельствуют о нарушении интеграции в ключевых нейросетях, участвующих в регуляции бодрствования, двигательной активно-

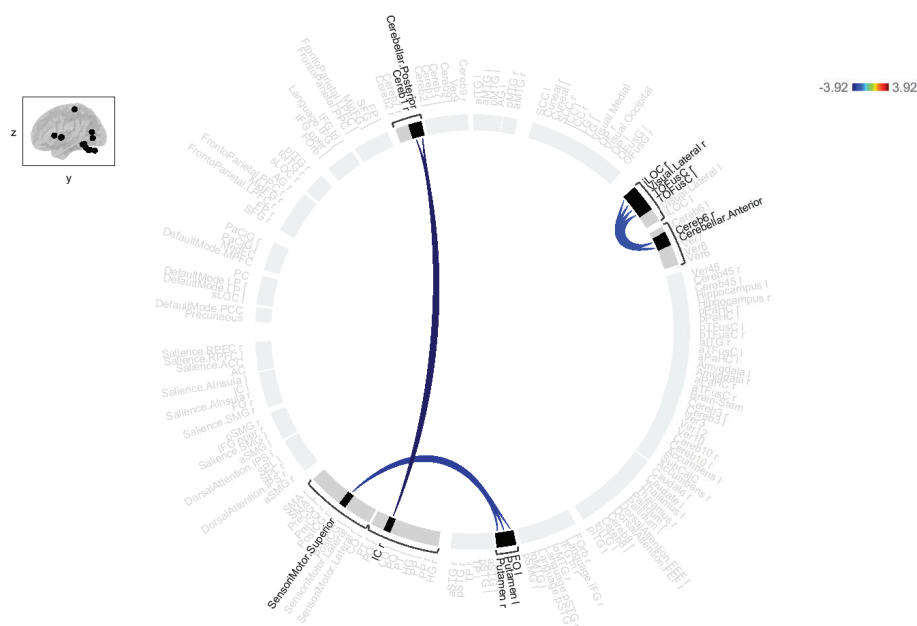


Рис. 2. Коннектограмма группы инсомнии в сравнении с контрольной группой. Вечерняя контрольная точка. Оттенками синего цвета отмечены функциональные связи, ослабленные по сравнению с контрольной группой
Fig. 2. Connectogram of insomnia group compared to control group at evening control time point. Reduced functional connections are marked in shades of blue

сти и сенсорной обработки. Ослабление связей сенсомоторной коры с базальными ганглиями и нижней лобной корой может указывать на дисфункцию моторной модуляции в предсонном состоянии. Нарушения в зри-

тельной сети, включая снижение связности между мозжечком, затылочной и поясной корой, могут отражать дезорганизацию процессов обработки внешней информации и внимания перед сном.

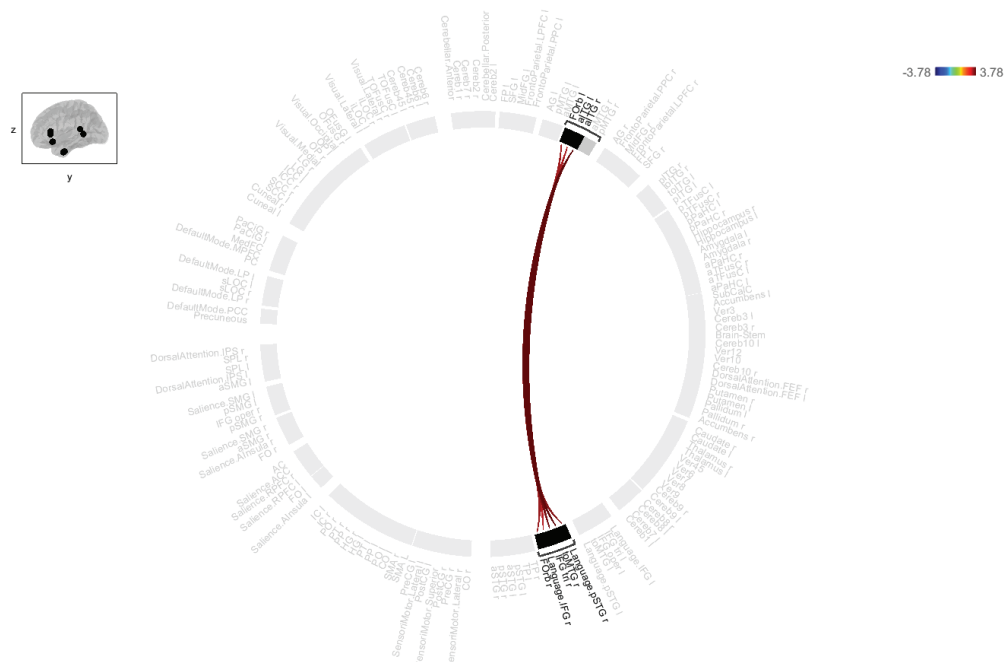


Рис. 3. Коннектограмма группы инсомнии в сравнении с контрольной группой. Вечерняя контрольная точка. Оттенками красного цвета отмечены функциональные связи, усиленные по сравнению с контрольной группой
Fig. 3. Connectogram of insomnia group compared to control group at the evening control time point. Enhanced functional connections are marked in shades of red

В утренней контрольной точке у пациентов с инсомнией определялось усиление связности центральной исполнительной сети (CEN), в частности, лобно-височной языковой сети. Так, наиболее активными областями являлись зоны Брока и Вернике, с корой верхней и нижней височной извилины с обеих сторон (рис. 3).

Повышенная активация языковой сети в состоянии покоя может быть связана с нарушением процессов «отключения» внутреннего речевого потока и руминативного мышления, а также с тревожным компонентом, часто сопутствующим инсомнии. Эти изменения, в свою очередь, указывают на дисрегуляцию циркадной активности когнитивных сетей и компенсаторную перестройку, направленную на поддержание вербальных функций при фрагментированном сне.

Статистически значимых ослаблений функциональной связности в утренней контрольной точке не выявлено ($p > 0,005$), что можно объяснить несколькими причинами:

1) циркадные колебания функциональной активности – утром нейросети, как правило, активируются для поддержания бодрствования и когнитивной деятельности. Эти механизмы могут временно нивелировать отличия между пациентами с инсомнией и контрольной группой;

2) компенсаторная нейропластичность – у пациентов с хронической инсомнией возможно формирование устойчивых компенсаторных механизмов, особенно в утренние часы, когда требуется активизация внимания и исполнительных функций. Это может маскировать выраженность нарушений, фиксируемых вечером;

3) чувствительность методики – при небольшом объеме выборки или высокой межиндивидуальной вариабельности различия могут не достигать статистической значимости, даже если присутствуют тренды на уровне отдельных регионов.

Таким образом, утреннее время может представлять собой окно относительного функционального выравнивания, не отражающее нейросетевых нарушений столь отчетливо, как вечерняя точка.

Заключение

В настоящем исследовании была проведена комплексная оценка сна у пациентов с хронической инсомнией с использованием валидизированных опросников, полисомнографии и функциональной МРТ в состоянии покоя.

Полученные данные выявили значимые различия между пациентами с хронической инсомнией и здоровыми участниками по субъективным показателям сна: в группе инсомнии были зарегистрированы достоверно более высокие баллы по шкалам ISI, PSQI и ESS, что свидетельствует о высокой степени неудовлетворенности сном, нарушении его восприятия и влиянии симптомов на дневную активность.

Однако, по данным полисомнографии, пациенты с инсомнией продемонстрировали лучшие объективные показатели сна, чем участники контрольной группы: эффективность сна в группе инсомнии оказалась выше, а продолжительность сна – больше. При этом латентность ко сну, длительность бодрствования после его начала и индекс микропробуждений также были ниже по сравнению с контролем, что может указывать на отсутствие выраженной фрагментации сна в данной выборке.

Такое несоответствие между субъективной тяжестью симптомов и объективными характеристиками сна может свидетельствовать о наличии у части пациентов феномена «ложной бессонницы» (парадоксальной инсомнии), при котором сохраняются функционально адекватные параметры сна при устойчивом ощущении его недостаточности. Эти результаты подчеркивают важность комплексного подхода к диагностике инсомнии, учитывающего как клинические жалобы, так и объективные методы оценки сна.

На основании данных функциональной МРТ в состоянии покоя можно заключить, что у пациентов с хронической инсомнией выявлены функциональные нарушения, отражающие дисфункцию механизмов подготовки ко сну и утреннего восстановления. В вечерние часы зафиксировано усиление связности в сети режима по умолчанию, а также сенсомоторной коры с базальными ядрами и зрительной системой, что может свидетельствовать о сохраняющейся кортикальной гиперак-

тивации и нарушенной интеграции сенсомоторных и сенсорных сигналов накануне сна. Утром, напротив, наблюдается усиление активности языковых и исполнительных сетей, что может отражать руминативные процессы и компенсаторную перестройку когнитивных функций. Эти данные подчеркивают значимость оценки нейросетевой динамики при хронической инсомнии.

Таким образом, интеграция данных полисомнографии, опросников и функциональной МРТ в покое позволяет более полно охарактеризовать патофизиологию хронической инсомнии, выявляя как субъективные проявления, так и объективные нейрофизиологические маркеры. Такой подход может быть полезен для дальнейшей стратификации пациентов, разработки персонализированных схем лечения и

оценки эффективности вмешательств, ориентированных не только на улучшение сна, но и на нормализацию нейрональной активности.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. **Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки. **Financing.** The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании. Исследование выполнено в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (в ред. 2013 г.). **Compliance with patient rights and principles of bioethics.** All patients gave written informed consent to participate in the study. The study was carried out in accordance with the requirements of the World Medical Association Declaration of Helsinki (updated in 2013).

Литература / References

1. Есин Р. Г., Есин О. Р., Эрикнова Д. Э. Инсомния – фактор, отягчающий течение сердечно-сосудистых заболеваний: современное понимание проблемы и пути решения // Мед. совет. 2024. № 13. С. 85–91. [Esin R. G., Esin O. R., Eriknova D. E. Insomnia as a factor aggravating the course of cardiovascular diseases: current understanding of the problem and possible solutions. Medical Council. 2024;(13):85–91. (In Russ.)].
2. Полуэктов М. Г. и др. Ведение пациентов с инсомнией при полиморбидной патологии: консенсус экспертов // Журн. неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. 2023. Т. 2, № 5. С. 1–9. [Poluektov M. G. et al. Management of patients with insomnia in polymorbid conditions: expert consensus. S. S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry. 2023;2(5):1–9. (In Russ.)].
3. Тардов М. В. и др. Коморбидность инсомнии // Эффективная фармакотерапия. 2024. Т. 20, № 33. С. 26–29. [Tardov M. V. et al. Comorbidity of insomnia. Effective Pharmacotherapy. 2024;20(33):26–29. (In Russ.)].
4. Riemann D. et al. Chronic insomnia, REM sleep instability and emotional dysregulation: A pathway to anxiety and depression?. J Sleep Res. 2025;34(2):e14252.
5. Li Y. et al. Sleep discrepancy is associated with alterations in the salience network in patients with insomnia disorder: An EEG-fMRI study. Neuroimage Clin. 2022;35: 102986.
6. Larson O., Perlis M., Gehrman P. Chronic insomnia. Encyclopedia of Sleep and Circadian Rhythms: in 6 vol. 2nd ed. 2023.
7. Levenson J. C., Kay D. B., Buysse D. J. The Pathophysiology of Insomnia. Chest. 2015;147(4):1179–1192.
8. Morin C. M., Buysse D. J. Management of Insomnia. New England Journal of Medicine. 2024;391(3):247–258.
9. Predatu R. et al., Emotion regulation difficulties in the relation between stress-related insomnia symptoms and brain response to emotional faces: An fMRI study. Sleep Med. 2023;101:561–569.
10. Everly G. S., Lating J. M. A Clinical Guide to the Treatment of the Human Stress Response. 4th ed. 2019.
11. Berry R. B. et al. The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events Rules, Terminology And Technical Specifications Version 2.2., 2015.
12. Young T. et al. Estimation of the Clinically Diagnosed Proportion of Sleep Apnea Syndrome in Middle-aged Men and Women. Sleep. 1997;20(9):705–706.
13. Fernandez-Mendoza J. et al. Sleep Misperception and Chronic Insomnia in the General Population: Role of Objective Sleep Duration and Psychological Profiles. Psychosom Med. 2011;73(1):88–97.
14. Lichstein K. L., Taylor D. J., McCrae C. S., Petrov M. E. Insomnia: Epidemiology and risk factor. Principles and practice of sleep medicine; eds by M. H. Kryger, T. Roth, W. C. Dement. 6th ed. Philadelphia: Elsevier; 2017, pp. 827–837.
15. Rezaie L., Fobian A. D., McCall W. V., Khazaie H. Paradoxical insomnia and subjective-objective sleep discrepancy: a review. Sleep Medicine Reviews. 2018;40:196–202.

Сведения об авторах

Анастасия Александровна Боршевецкая – аспирант кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования Национального медицинского исследовательского центра им. В. А. Алмазова (Санкт-Петербург, Россия);

Геннадий Евгеньевич Труфанов – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования Националь-

ного медицинского исследовательского центра им. В. А. Алмазова (Санкт-Петербург, Россия);

Юрий Владимирович Свиричев – доктор медицинских наук, руководитель группы сомнологии Научно-исследовательского отдела артериальной гипертензии Национального медицинского исследовательского центра им. В. А. Алмазова (Санкт-Петербург, Россия);

Валерия Всеволодовна Амелина – кандидат психологических наук, младший научный сотрудник Научно-ис-

следовательского отдела артериальной гипертензии Национального медицинского исследовательского центра им. В. А. Алмазова (Санкт-Петербург, Россия);

Анастасия Михайловна Климович – ординатор по специальности «Рентгенология» кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой

Института медицинского образования Национального медицинского исследовательского центра им. В. А. Алмазова (Санкт-Петербург, Россия);

Илья Тимофеевич Морев – студент Института медицинского образования Национального медицинского исследовательского центра им. В. А. Алмазова (Санкт-Петербург, Россия).

Information about the authors

Anastasia A. Borshevetskaya – Postgraduate Student at the Department of Radiology and Medical Visualization, Almazov National Medical Research Centre (St. Petersburg, Russia);

Gennadiy E. Trufanov – Dr. of Sci. (Med.), Full Professor, Head at the Department of Radiology and Medical Visualization, Almazov National Medical Research Centre (St. Petersburg, Russia);

Yurii V. Sviryaev – Dr. of Sci. (Med.), Head at the Somnology Research Group, Almazov National Medical Research Centre (St. Petersburg, Russia);

Valeria V. Amelina – Cand. of Sc. (Psychol.), Junior Researcher at the Somnology Research Group, Almazov National Medical Research Centre (St. Petersburg, Russia);

Anastasia M. Klimovich – Resident at the Department of Radiology and Medical Visualization Department, Almazov National Medical Research Centre (St. Petersburg, Russia);

Ilya T. Morev – Student at the Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Centre (St. Petersburg, Russia).

Поступила в редакцию 02.07.2025

Поступила после рецензирования 30.08.2025

Принята к публикации 10.09.2025

Received 02.07.2025

Revised 30.08.2025

Accepted 10.09.2025