

УДК 616.12-008.331.1:612.284.2«345»]616-073.788

DOI: 10.36604/1998-5029-2024-93-8-16

ВЛИЯНИЕ НАРУШЕНИЙ ДЫХАНИЯ ВО СНЕ НА УСТОЙЧИВЫЕ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВО ВРЕМЯ НОЧНОГО СНА У ПАЦИЕНТОВ С АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ

А.А.Орлова, М.В.Агальцов, М.О.Журавлев, А.Е.Руннова, О.Н.Джигоева, А.Р.Киселев, О.М.Драпкина

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр
терапии и профилактической медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 101990,
г. Москва, Петроверигский пер., 10, стр.3

РЕЗЮМЕ. Введение. Обструктивное апноэ сна (ОАС) – наиболее распространенное нарушение дыхания во сне. Среди значительного числа пациентов с ОАС часто встречается сердечно-сосудистая коморбидность, и в первую очередь – артериальная гипертензия. При ОАС наблюдается изменение параметров биоэлектрической активности головного мозга, в частности замедление частоты электроэнцефалографической активности коры больших полушарий, снижение меры межполушарной синхронизации. Изменения этих показателей могут стать патофизиологическими маркерами нарушений дыхания во сне. **Цель.** Изучить влияние нарушений дыхания во сне на ряд количественных характеристик электроэнцефалограммы (ЭЭГ) во время ночного сна у пациентов с артериальной гипертензией и клинически значимым ОАС. **Материалы и методы.** Материалом для ретроспективного исследования послужили 84 полисомнографические записи пациентов преимущественно с артериальной гипертензией в качестве основного диагноза. Пациенты были разделены на 3 группы в зависимости от значения индекса апноэ-гипопноэ (ИАГ). По записям полисомнографии оценивалась мера синхронизации электрической активности головного мозга между затылочными ЭЭГ-отведениями. Для оценки синхронизации использовался метод, основанный на расчете вейвлетной бикогерентности. **Результаты.** Статистически значимые различия были получены при оценке значений в диапазоне низких частот Δf_1 – Δf_4 : 0,2–1,0 Гц, 0,8–1,6 Гц, 1,0–2,0 Гц, 1,0–4,0 Гц. В этих частотах с увеличением степени тяжести апноэ мера межполушарной синхронизации достоверно снижалась. **Заключение.** Для определения тяжести обструктивного апноэ сна может быть рассмотрен параметр, основанный на оценке меры синхронизации, рассчитанной по симметричным затылочным ЭЭГ-сигналам в частотных диапазонах 0,2–1,0 Гц, 0,8–1,6 Гц, 1,0–2,0 Гц, 1,0–4,0 Гц, что в дальнейшем может послужить основой для разработки и внедрения в практическую деятельность новых диагностических инструментов оценки тяжести нарушений дыхания во сне.

Ключевые слова: обструктивное апноэ сна, нарушения дыхания во сне, артериальная гипертензия, количественные ЭЭГ-характеристики, непрерывный вейвлетный анализ.

EFFECT OF SLEEP-DISORDERED BREATHING ON STABLE ELECTROENCEPHALOGRAPHIC CHARACTERISTICS DURING NIGHT SLEEP IN PATIENTS WITH ARTERIAL HYPERTENSION

A.A.Orlova, M.V.Agaltsov, M.O.Zhuravlev, A.E.Runnova, O.N.Dzhioeva, A.R.Kiselev, O.M.Drapkina

National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine, 10, b.3 Petroverigsky Lane, Moscow, 101990,
Russian Federation

SUMMARY. Introduction. Obstructive sleep apnea (OSA) is the most common sleep-disordered breathing condition. A significant number of OSA patients often present with cardiovascular comorbidities, particularly arterial hypertension.

Контактная информация

Анна Андреевна Орлова, младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 101990, Россия, г. Москва, Петроверигский пер., 10, стр.3. E-mail: aorlova345@yahoo.com

Correspondence should be addressed to

Anna A. Orlova, MD, Junior Staff Scientist, National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine, 10, b.3 Petroverigsky Lane, Moscow, 101990, Russian Federation. E-mail: aorlova345@yahoo.com

Для цитирования:

Орлова А.А., Агальцов М.В., Журавлев М.О., Руннова А.Е., Джигоева О.Н., Киселев А.Р., Драпкина О.М. Влияние нарушений дыхания во сне на устойчивые электроэнцефалографические характеристики во время ночного сна у пациентов с артериальной гипертензией // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2024. Вып.93. С.8–16. DOI: 10.36604/1998-5029-2024-93-8-16

For citation:

Orlova A.A., Agaltsov M.V., Zhuravlev M.O., Runnova A.E., Dzhioeva, O.N. Kiselev A.R., Drapkina O.M. Effect of sleep-disordered breathing on stable electroencephalographic characteristics during night sleep in patients with arterial hypertension. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniâ = Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2024; (93):8–16 (in Russian). DOI: 10.36604/1998-5029-2024-93-8-16

OSA is associated with changes in bioelectrical activity of the brain, such as slowing of electroencephalographic activity in the cortex and reduced interhemispheric synchronization. These changes can become pathophysiological markers of sleep-disordered breathing. **Aim.** To investigate the effect of sleep-disordered breathing on a range of quantitative electroencephalogram (EEG) characteristics during nighttime sleep in patients with arterial hypertension and clinically significant OSA. **Materials and methods.** The material for this retrospective study consisted of 84 polysomnographic records of patients predominantly diagnosed with arterial hypertension. Patients were divided into three groups based on the apnea-hypopnea index (AHI). Polysomnographic records were used to assess the synchronization measure of brain electrical activity between occipital EEG leads. The synchronization measure was evaluated using a method based on wavelet bicoherence calculation. **Results.** Statistically significant differences were observed in the low-frequency ranges Δf_1 - Δf_4 : 0.2-1.0 Hz, 0.8-1.6 Hz, 1.0-2.0 Hz, 1.0-4.0 Hz. In these frequencies, the interhemispheric synchronization measure significantly decreased with increasing severity of apnea. **Conclusion.** To determine the severity of obstructive sleep apnea, a parameter based on the synchronization measure evaluated from symmetrical occipital EEG signals in the frequency ranges 0.2-1.0 Hz, 0.8-1.6 Hz, 1.0-2.0 Hz, and 1.0-4.0 Hz can be considered. This may serve as the basis for developing and implementing new diagnostic tools for assessing the severity of sleep-disordered breathing in practice.

Key words: obstructive sleep apnea, sleep-disordered breathing, arterial hypertension, quantitative EEG characteristics, continuous wavelet analysis.

Обструктивное апноэ сна (ОАС) характеризуется периодическим полным или частичным коллапсом верхних дыхательных путей на уровне глотки и нарушением легочной вентиляции при сохраняющихся дыхательных усилиях с сопутствующим снижением степени насыщения крови кислородом, нарушением структуры сна с его фрагментацией и симптомами дневной сонливости. Основные факторы риска ОАС (ожирение, курение, избыточное употребление алкоголя) широко распространены в российской популяции [1] и могут косвенно свидетельствовать о большой представленности данной патологии в РФ.

Среди значительного числа пациентов с ОАС часто встречается сердечно-сосудистая коморбидность, и в первую очередь – артериальная гипертензия, которая в 39-82,2% случаев сопутствует ОАС [2–3]. Сочетание этих двух заболеваний нашло свое отражение в современных клинических рекомендациях. В частности, рекомендации Российского кардиологического общества оценивают вклад ОАС в развитие вторичной артериальной гипертензии (АГ) и отражают основные аспекты скрининга, диагностики и лечения апноэ [4].

Еще в 1998 году F. Morisson и соавторы выдвинули гипотезу, что снижение работоспособности, которое часто наблюдается у пациентов с апноэ, может быть связано с гипоксемической дисфункцией лобных долей коры больших полушарий [5]. Для оценки дисфункции по записям электроэнцефалограмм (ЭЭГ) пациентов с обструктивным апноэ сна и контрольной группы рассчитывались количественные характеристики электрической активности головного мозга. Показано, что во время бодрствования у пациентов с ОАС наблюдалось замедление частоты ЭЭГ-активности как фронтальной коры больших полушарий, так и теменных, затылочных и височных долей. Позднее те же исследователи описали эти изменения как во время бодрствования, так и в фазе быстрого сна у пациентов с ОАС и показали обратимость этих изменений на фоне современного метода лечения апноэ – СРАР-терапии (continuous positive airway pressure therapy) [6]. A. Mathieu и со-

авторы в 2007 году с помощью спектрального анализа ЭЭГ также подтвердили замедление частоты ЭЭГ-активности во всех областях коры головного мозга у пациентов с ОАС по сравнению со здоровыми добровольцами [7]. При сравнении пациентов с ОАС младшего (25-50 лет) и старшего возраста (51-72 года) возрастных изменений в активности ЭЭГ выявить не удалось [7].

Данный феномен широко не изучался у пациентов с сочетанием ОАС и артериальной гипертензии. Поэтому в статье изложены результаты анализа количественных характеристик ЭЭГ, полученных в ходе исследования сна – полисомнографии, у пациентов с артериальной гипертензией и клинически значимым ОАС.

Для оценки выбрана мера синхронизации, рассчитанная на основе вейвлетной бикогерентности [8-12]. Считается, что синхронизация ЭЭГ-активности может отражать механизм функциональной связи, участвующий в обработке информации в головном мозге [13]. Доказано, что этот показатель изменяется при таких заболеваниях нервной системы, как болезнь Альцгеймера [14], эпилепсия [15], болезнь Паркинсона [16] и аутизм [17]. Его изменения могут также стать патофизиологическим маркером нарушений дыхания во сне.

Предварительные результаты исследования на небольшой выборке пациентов с ОАС без разделения их по степени тяжести апноэ при сравнении со здоровыми добровольцами были опубликованы нами ранее [18]. В рамках данной статьи представлены результаты оценки меры межполушарной синхронизации между затылочными ЭЭГ-каналами, так как ранее наиболее значимые результаты были получены именно в этих отведениях.

Цель исследования: изучить влияние нарушений дыхания во сне на ряд количественных характеристик ЭЭГ во время ночного сна у пациентов с артериальной гипертензией и клинически значимым ОАС в зависимости от степени тяжести апноэ.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось в соответствии с принципами Хельсинкской декларации и было одобрено Независимым этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ ТПМ» Минздрава России (протокол 02-03/22 от 17.03.2022). Информированное согласие получено от всех участников.

Материалом для ретроспективного исследования послужили 84 полисомнографические записи пациентов преимущественно с АГ в качестве основного диагноза, получавших стационарное или амбулаторное лечение в ФГБУ «НМИЦ ТПМ» Минздрава России. Пациенты старше 75 лет и пациенты с сопутствующими заболеваниями нервной системы, которые могли повлиять на качество записи полисомнографии, исклю-

чались из исследования. У подавляющего числа (93%) пациентов ведущим заболеванием была гипертоническая болезнь. Пациенты были разделены на 3 группы в зависимости от значения индекса апноэ-гипопноэ (ИАГ) – количества эпизодов нарушений дыхания за час сна. По значению ИАГ определяли степень тяжести заболевания.

В первую группу вошли 13 пациентов с легкой или средней степенью тяжести ОАС ($10 \leq \text{ИАГ} \leq 20$ эп/ч), во вторую группу – 48 пациентов со среднетяжелой формой заболевания ($20 \leq \text{ИАГ} \leq 50$ эп/ч). Третью группу составили 23 пациента с выраженной тяжелой степенью ОАС ($\text{ИАГ} > 50$ эп/ч). Клиническая характеристика групп представлена в таблице 1.

Таблица 1

Клиническая характеристика групп

Параметры	$10 \leq \text{ИАГ} \leq 20$ эп/ч (n=13)	$20 \leq \text{ИАГ} \leq 50$ эп/ч (n=48)	$\text{ИАГ} > 50$ эп/ч (n=23)	p-value
ГБ I стадии, %	23,1	14,6	4,3	0,811
ГБ II стадии, %	7,7	31,3	30,4	
ГБ III стадии, %	61,5	47,9	56,5	
Возраст, лет	56,4[47,8;65,0]	59,2[56,0;62,3]	56,2[51,9;60,6]	0,407
СД 2 типа, %	23,1	22,9	26,1	0,956
Женский пол, %	38,5	31,3	30,4	0,868
ФВ, %	59,9 [54,8;67,5]	57,5 [47,0;69,0]	57,3 [47,3;69,0]	0,995
SpO ₂ ср, %	93,8 [92,4;95,5]	92,4 [91,4;94,1]	90,8 [89,4;92,3]	0,002
Курение, %	15,4	16,7	4,3	0,412
ИМТ, кг/м ²	32,5 [29,5;35,4]	32,7 [30,5;34,9]	38,3 [32,7;43,9]	0,064
Общий холестерин, ммоль/л	5,3 [4,5;6,0]	5,0 [4,6;5,5]	5,3 [4,0;6,6]	0,874

Примечание: здесь и в таблице 2: ИАГ – индекс апноэ-гипопноэ, p-value – p-критерий, полученный в результате однофакторного дисперсионного анализа Краскела – Уоллиса; ГБ – гипертоническая болезнь, СД – сахарный диабет, ФВ – фракция выброса, SpO₂ ср – средние значения насыщения крови кислородом за период ночного сна, ИМТ – индекс массы тела.

Пациенты были сопоставимы по частоте встречаемости артериальной гипертензии любой стадии, сахарного диабета 2 типа, возрасту и полу. Фракция выброса левого желудочка и уровень общего холестерина в крови так же статистически значимо не различались. Доля курящих была минимальна в третьей группе. С увеличением степени тяжести ОАС наблюдалась тенденция к увеличению ИМТ и снижению средних значений насыщения крови кислородом за период ночного сна.

Всем пациентам было проведено комплексное ночное исследование сна с использованием полисомнографа COMETplusGrassTechnologies, Astro-MedInc., USA. Монтаж полисомнограммы включал в себя за-

пись электроокулограммы (ЭОГ), ЭЭГ, электромиограммы (ЭМГ), электрокардиограммы (ЭКГ), храпа, дыхательного потока, дыхательного усилия грудной клетки и брюшной стенки, периферической электромиограммы (ЭМГ). Отдельно в виде цифровых значений представлялась частота пульса, сатурация крови кислородом и положение тела в пространстве. Каждая запись была проанализирована специалистом медицины сна и сопровождалась итоговым протоколом исследования и заключением с указанием степени тяжести апноэ.

По записям оценивалась мера синхронизации электрической активности головного мозга между затылочными ЭЭГ-отведениями за всю продолжительность

ночной записи. Мера синхронизации рассчитывалась для 14 частотных диапазонов, приведенных в таблице 2 (см. раздел Результаты).

Для оценки синхронизации использовался метод, основанный на расчете вейвлетной бикогерентности. Данная методика основана на оценке комплексных коэффициентов непрерывного вейвлет-преобразования для каждого канала ЭЭГ и последующем вычислении коэффициента взаимной синхронизации двух сигналов ЭЭГ между собой. Коэффициент синхронизации принимает значение от 0 до 1 и характеризует меру синхронизации исследуемых сигналов в заданный момент времени и на определенной частоте. Чем более согласованную (или синхронизированную) динамику демонстрируют сигналы, тем ближе это значение к 1, т.е. синхронизация высокая.

Статистический анализ полученных данных проведен в программах SPSS и Statistica. Для всех количественных величин была определена нормальность распределения с помощью теста Шапиро-Уилкса. Количественные показатели представлены в виде медианы и межквартильного интервала. Для качественных параметров указаны доли в процентах от общего числа наблюдений в группе. Для сравнения значений между группами был проведен дисперсионный анализ, значимыми считались отличия с p -критерием $< 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Средние значения меры синхронизации для каждой из групп в заданных диапазонах частот представлены в таблице 2.

Таблица 2

Средние значения меры синхронизации затылочных ЭЭГ-сигналов в зависимости от тяжести нарушений дыхания во сне

Диапазон частот	$10 \leq \text{ИАГ} \leq 20$ эп/ч (n=13)	$20 \leq \text{ИАГ} \leq 50$ эп/ч (n=48)	$\text{ИАГ} > 50$ эп/ч (n=23)	p-value
диапазон Δf_1 [0,2-1,0 Гц]	0,509 [0,477; 0,609]	0,426 [0,348; 0,502]	0,445 [0,394; 0,496]	0,022
диапазон Δf_2 [0,8-1,6 Гц]	0,532 [0,490; 0,601]	0,404 [0,350; 0,501]	0,392 [0,375; 0,518]	0,008
диапазон Δf_3 [1,0-2,0 Гц]	0,535 [0,487; 0,609]	0,424 [0,351; 0,506]	0,392 [0,375; 0,517]	0,008
диапазон Δf_4 [1,0-4,0 Гц]	0,496 [0,449; 0,585]	0,386 [0,314; 0,486]	0,349 [0,315; 0,445]	0,009
диапазон Δf_5 [4,0-6,0 Гц]	0,415 [0,343; 0,463]	0,398 [0,342; 0,496]	0,361 [0,337; 0,431]	0,279
диапазон Δf_6 [4,0-8,0 Гц]	0,439 [0,402; 0,509]	0,418 [0,384; 0,483]	0,395 [0,359; 0,433]	0,139
диапазон Δf_7 [6,0-8,0 Гц]	0,429 [0,374; 0,443]	0,444 [0,394; 0,519]	0,412 [0,391; 0,462]	0,220
диапазон Δf_8 [8,0-10,0 Гц]	0,408 [0,355; 0,441]	0,441 [0,381; 0,517]	0,418 [0,387; 0,469]	0,157
диапазон Δf_9 [8,0-12,0 Гц]	0,376 [0,331; 0,406]	0,413 [0,360; 0,499]	0,440 [0,367; 0,487]	0,103
диапазон Δf_{10} [10,0-12,0 Гц]	0,409 [0,379; 0,464]	0,424 [0,370; 0,520]	0,414 [0,372; 0,515]	0,801
диапазон Δf_{11} [12,0-14,0 Гц]	0,427 [0,377; 0,456]	0,393 [0,363; 0,479]	0,402 [0,359; 0,454]	0,874
диапазон Δf_{12} [12,0-20,0 Гц]	0,431 [0,385; 0,468]	0,458 [0,402; 0,529]	0,443 [0,401; 0,491]	0,169
диапазон Δf_{13} [20,0-30,0 Гц]	0,430 [0,399; 0,456]	0,447 [0,413; 0,542]	0,447 [0,410; 0,507]	0,165
диапазон Δf_{14} [30,0-40,0 Гц]	0,416 [0,393; 0,441]	0,454 [0,415; 0,534]	0,477 [0,413; 0,520]	0,054

Мера синхронизации была рассчитана между двумя полушарными затылочными сигналами ЭЭГ, полученными при записи за весь период ночного сна. Статистически значимые различия были получены при оценке значений в диапазоне частот Δf_1 - Δf_4 : 0,2-1,0 Гц, 0,8-1,6 Гц, 1,0-2,0 Гц, 1,0-4,0 Гц. В этих частотах с увеличением степени тяжести апноэ мера межполушарной синхронизации достоверно снижалась.

На рисунке графически отражены средние значения меры синхронизации затылочных ЭЭГ-сигналов в зависимости от тяжести нарушений дыхания во сне. Вы-

шеописанный тренд отмечался в диапазоне низких частот (1-4), в то время как, начиная с 5-го диапазона частот, значения меры синхронизации выравнивались.

По результатам исследования когорты пациентов с артериальной гипертензией мера межполушарной синхронизации электрической активности головного мозга между симметричными затылочными отведениями снижалась по мере увеличения степени тяжести ОАС. Эти результаты согласуются с ранее полученными нами данными на когорте пациентов без сердечно-сосудистых заболеваний [18].

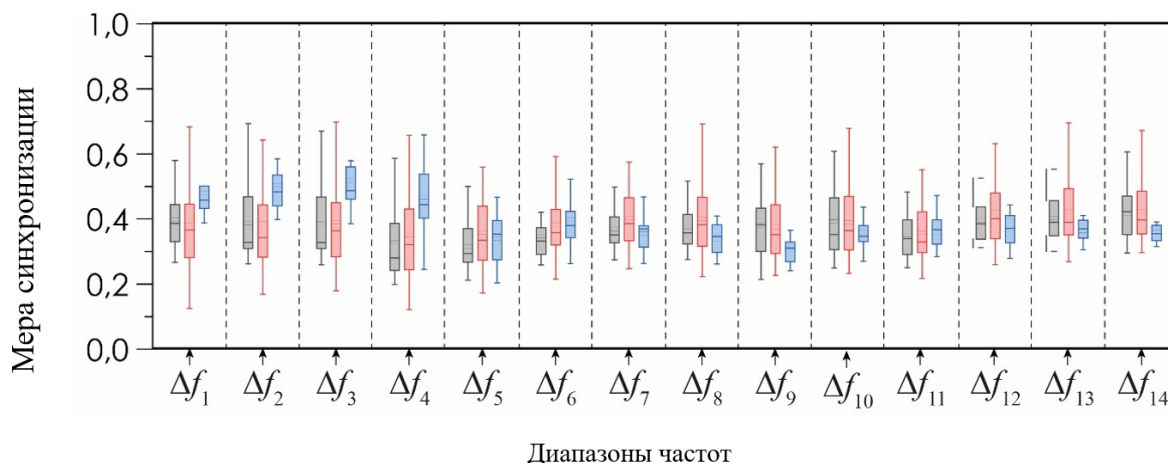


Рис. Средние значения меры синхронизации затылочных ЭЭГ-сигналов в зависимости от тяжести нарушений дыхания во сне: синий цвет – $10 \leq \text{ИАГ} \leq 20$ эп/ч, красный цвет – $20 \leq \text{ИАГ} \leq 50$ эп/ч, серый цвет – $\text{ИАГ} > 50$ эп/ч.

Изменения в электрической активности головного мозга у пациентов с ОАС по результатам количественного анализа ЭЭГ могут быть обусловлены теми патофизиологическими процессами, которые являются последствием нарушений дыхания во сне. В частности, гипоксемия, которая регистрируется у больных с ОАС, особенно при тяжелых степенях заболевания, может препятствовать восстановительным процессам во сне и вызывать структурное повреждение клеток центральной нервной системы [19]. На базе визуализационных исследований доказано, что головной мозг пациентов с ОАС характеризуется уменьшением объема серого вещества, нарушением целостности белого вещества и электрической активности в состоянии покоя [20]. Текущие данные указывают на изменения белого вещества в мозолистом теле, поясной извилине, кортикоспинальном тракте, островковой коре, базальных ганглиях и лимбических участках [21]. Эти зоны головного мозга участвуют в регуляции настроения, а также в функционировании сердечно-сосудистой и вегетативной нервной системы. Наблюдаемые функциональные изменения в активности головного мозга, в частности снижение меры межполушарной синхронизации, могут быть отражением вышеперечисленных структурных изменений.

Таким образом, мера межполушарной синхронизации между симметричными затылочными ЭЭГ-отведениями в перспективе может рассматриваться как маркер тяжести ОАС у пациентов с сердечно-сосудистым риском.

Ограничения

Ограничением исследования можно назвать отсутствие группы контроля. Поэтому дальнейшая работа должна быть направлена на оценку уровня межполушарной синхронизации у пациентов с АГ без ОАС.

Заключение

Методы количественной оценки электроэнцефало-

графических характеристик могут предоставить дополнительную информацию об изменениях в активности головного мозга во время сна у пациентов с клинически значимым ОАС.

Для определения тяжести обструктивного апноэ сна может быть рассмотрен параметр, основанный на оценке меры синхронизации, рассчитанной по симметричным затылочным ЭЭГ-сигналам в частотных диапазонах 0,2-1,0 Гц, 0,8-1,6 Гц, 1,0-2,0 Гц, 1,0-4,0 Гц, что в дальнейшем может послужить основой для разработки и внедрения в практическую деятельность новых диагностических инструментов оценки тяжести нарушений дыхания во сне.

Конфликт интересов

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest

Источники финансирования

Работа выполнена в рамках государственного задания «Разработка алгоритмов распознавания маркеров нарушений дыхания во сне у пациентов с различными формами сердечно-сосудистой патологии», (№122013100209-5), выполняемой в ФГБУ «НМИЦ ТПМ» Минздрава России в 2022-2024 гг.

Funding Sources

This study has been supported by the Government Procurement of the Russian Federation Ministry of Healthcare within the state assignment “Development of Algorithms for Recognizing Markers of Breathing Disorders During Sleep in Patients with Various Forms of Cardiovascular Pathology” №122013100209-5 (2022-2024), performed at the National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine

ЛИТЕРАТУРА

1. Муромцева Г.А., Концевая А.В., Константинов В.В., Артамонова Г.В., Гатагонова Т.М., Дупляков Д.В., Ефанов А.Ю., Жернакова Ю.В., Ильин В.А., Конради А.О., Либис Р.А., Минаков А.В., Недогода С.В., Ощепкова Е.В., Романчук С.А., Ротарь О.П., Трубачева И.А., Деев А.Д., Шальнова С.А., Чазова И.Е., Шляхто Е.В., Бойцов С.А., Баланова Ю.А., Гомыранова Н.В., Евстифеева С.Е., Капустина А.В., Литинская О.А., Мамедов М.Н., Метельская В.А., Оганов Р.Г., Суворова Е.И., Худяков М.Б., Баранова Е.И., Касимов Р.А., Шабунова А.А., Ледяева А.А., Чумачек Е.В., Азарин О.Г., Бабенко Н.И., Бондарцов Л.В., Фурменко Г.И., Хвостикова А.Е., Белова О.А., Назарова О.А., Шутемова О.А., Барбараш И.Л., Данильченко Я.В., Индукаева Е.В., Максимов С.А., Мулерова Т.А., Скрипченко А.Е., Черкасс Н.В., Басырова И.Р., Исаева Е.Н., Кондратенко В.Ю., Лопина Е.А., Сафонова Д.В., Гудкова С.А., Черепанова Н.А., Кавешников В.С., Карпов Р.С., Серебрякова В.Н., Медведева И.В., Сторожок М.А., Шава В.П., Шалаев С.В., Гутнова С.К., Толпаров Г.В. Распространенность факторов риска неинфекционных заболеваний в российской популяции в 2012-2013 гг. Результаты исследования ЭССЕ-РФ // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2014. Т.13, №6. С.4–11. EDN: TBSOYN. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2014-6-4-11>
2. Pinto J.A., Ribeiro D.K., Cavallini A.F., Duarte C., Freitas G.S. Comorbidities associated with obstructive sleep apnea: a retrospective study // *Int. Arch. Otorhinolaryngol.* 2016. Vol.20 №2. P.145–150. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1579546>
3. Muxfeldt E.S., Margallo V.S., Guimarães G.M., Salles G.F. Prevalence and associated factors of obstructive sleep apnea in patients with resistant hypertension // *Am. J. Hypertens.* 2014. Vol.27 №8. P.1069–1078. <https://doi.org/10.1093/ajh/hpu023>
4. Кобалава Ж.Д., Конради А.О., Недогода С.В., Шляхто Е.В., Арутюнов Г.П., Баранова Е.И., Барбараш О.Л., Бойцов С.А., Вавилова Т.В., Виллевальде С.В., Галявич А.С., Глезер М.Г., Гринева Е.Н., Гринштейн Ю.И., Драпкина О.М., Жернакова Ю.В., Звартау Н.Э., Кисляк О.А., Козиолова Н.А., Космачева Е.Д., Котовская Ю.В., Либис Р.А., Лопатин Ю.М., Небиеридзе Д.В., Недошивин А.О., Остроумова О.Д., Ощепкова Е.В., Ратова Л.Г., Скибицкий В.В., Ткачева О.Н., Чазова И.Е., Чесникова А.И., Чумакова Г.А., Шальнова С.А., Шестакова М.В., Якушин С.С., Янишевский С.Н. Артериальная гипертензия у взрослых. Клинические рекомендации 2020 // Российский кардиологический журнал. 2020. Т.25, №3. С.149–218. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-3-3786>
5. Morisson F., Lavigne G., Petit D., Nielsen T., Malo J., Montplaisir J. Spectral analysis of wakefulness and REM sleep EEG in patients with sleep apnoea syndrome // *Eur. Respir. J.* 1998. Vol. 11, №5. P.1135–1140. <https://doi.org/10.1183/09031936.98.11051135>
6. Morisson F., Décary A., Petit D., Lavigne G., Malo J., Montplaisir J. Daytime sleepiness and EEG spectral analysis in apneic patients before and after treatment with continuous positive airway pressure // *Chest.* 2001. Vol.119, №1. P.45–52. <https://doi.org/10.1378/chest.119.1.45>
7. Mathieu A., Mazza S., Petit D., Décary A., Massicotte-Marquez J., Malo J., Montplaisir J. Does age worsen EEG slowing and attention deficits in obstructive sleep apnea syndrome? // *Clin. Neurophysiol.* 2007. Vol.118, №7. P.1538–1544. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.009>
8. Makarov V.V., Zhuravlev M.O., Runnova A.E., Protasov P., Maksimenko V.A., Frolov N.S., Pisarchik A.N., Hramov A.E. Betweenness centrality in multiplex brain network during mental task evaluation // *Phys. Rev. E.* 2018. Vol.98, Iss.6. Article number:062413. <https://doi.org/10.1103/physreve.98.062413>
9. Selskii A., Drapkina O., Agaltsov M., Posnenkova O., Simonyan M., Zhuravlev M., Runnova A. Adaptation of recurrence plot method to study a polysomnography: changes in EEG activity in obstructive sleep apnea syndrome // *Eur. Phys. J. Spec. Top.* 2023. Vol. 232. P.703–714. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-023-00814-8>
10. Hu Q., Li M., Li Y. Single-channel EEG signal extraction based on DWT, CEEMDAN, and ICA method // *Front. Hum. Neurosci.* 2022. Vol.16. Article number:1010760. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.1010760>
11. Runnova A., Zhuravlev M., Orlova A., Agaltsov M., Drapkina O., Kiselev A. Structural abnormalities of brain electrical activity during night sleep in patients with obstructive apnoea syndrome // *Eur. Phys. J. Spec. Top.* 2023. Vol.233. P.531–542. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-023-01056-4>
12. Selskii A.O., Egorov E.N., Ukolov R.V., Orlova A.A., Drozhdeva E.E., Mironov S.A., Doludin Yu.V., Agaltsov M.V., Drapkina O.M. Sleep-disordered breathing: statistical characteristics of joint recurrent indicators in EEG activity // *Russian Open Medical Journal.* 2023. Vol.12, Iss.4. Article number:e0401. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2023.0401>
13. Jalili M., Barzegaran E., Knyazeva M.G. Synchronization of EEG: bivariate and multivariate measures // *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 2014. Vol.22, №2. P.212–221. <https://doi.org/10.1109/tnsre.2013.2289899>
14. Knyazeva M.G., Carmeli C., Khadivi A., Ghika J., Meuli R., Frackowiak R.S. Evolution of source EEG synchronization in early Alzheimer's disease // *Neurobiol. Aging.* 2013. Vol.34, №3. P.694–705. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2012.07.012>
15. Sakkalis V., Doru Giurcaneanu C., Xanthopoulos P., Zervakis M. E., Tsiaras V., Yang Y., Karakonstantaki E., Micheloyannis S. Assessment of linear and nonlinear synchronization measures for analyzing EEG in a mild epileptic paradigm // *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.* 2009. Vol.13, №4. P.433–441. <https://doi.org/10.1109/titb.2008.923141>

16. Moazami-Goudarzi M., Sarnthein J., Michels L., Moukhtieva R., Jeanmonod D. Enhanced frontal low and high frequency power and synchronization in the resting EEG of parkinsonian patients // *NeuroImage*. 2008. Vol.41, №3. P.985–997. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.03.032S>
17. Khan S., Gramfort A., Shetty N.R., Kitzbichler M.G., Ganesan S., Moran J.M., Lee S.M., Gabrieli J.D.E., Tager-Flusberg H.B., Joseph R.M., Herbert M.R., Hämäläinen M.S., Kenet T. Local and long-range functional connectivity is reduced in concert in autism spectrum disorders // *Proc. Nat. Acad. Sci.* 2013. Vol.110, №8. P.3107–3112. <https://doi.org/10.1073/pnas.1214533110>
18. Zhuravlev M., Agaltsov M., Kiselev A., Simonyan M., Novikov M., Selskii A., Ukolov R., Drapkina O., Orlova A., Penzel T., Runnova A. Compensatory mechanisms of reduced interhemispheric EEG connectivity during sleep in patients with apnea // *Sci. Rep.* 2023. Vol.13, №1. Article number:8444. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35376-1>
19. Rosenzweig I., Glasser M., Polsek D., Leschziner G.D., Williams S.C., Morrell M.J. Sleep apnoea and the brain: a complex relationship // *Lancet Respir. Med.* 2015. Vol.3, №5. P.404–414. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(15\)00090-9](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(15)00090-9)
20. Rostampour M., Noori K., Heidari M., Fadaei R., Tahmasian M., Khazaie H., Zarei M. White matter alterations in patients with obstructive sleep apnea: a systematic review of diffusion MRI studies // *Sleep Med.* 2020. Vol.75. P.236–245. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2020.06.024>
21. Macey P.M., Kumar R., Woo M.A., Valladares E.M., Yan-Go F.L., Harper R.M. Brain structural changes in obstructive sleep apnea // *Sleep*. 2008. Vol.31, №7. P.967–977. PMID: 18652092; PMCID: PMC2491498.

REFERENCES

1. Muromtseva G.A., Kontsevaya A.V., Konstantinov V.V., Artamonova G.V., Gatagonova T.M., Duplyakov D.V., Efانov A.Yu., Zhernakova Yu.V., Il'in V.A., Konradi A.O., Libis R.A., Minakov E.V., Nedogoda S.V., Oschepkova E.V., Romanchuk S.V., Rotar O.P., Trubacheva I.A., Deev A.D., Shalnova S.A., Chazova I.E., Shlyakhto E.V., Boytsov S.A., Balanova Yu.A., Gomysanova N.V., Evstifeeva S.E., Kapustina A.V., Litinskaya O.A., Mamedov M.N., Metelskaya V.A., Oganov R.G., Suvorova E.I., Khudyakov M.B., Baranova E.I., Kasimov R.A., Shabunova A.A., Ledyayeva A.A., Chumachek E.V., Azarin O.G., Babenko N.I., Bondartsov L.V., Furmenko G.I., Khvostikova A.E., Belova O.A., Nazarova O.A., Shutemova E.A., Barbarash O.L., Danilchenko Ya.V., Indukaeva E.V., Maksimov S.A., Mulerova T.A., Skripchenko A.E., Cherkass N.V., Basyrova I.R., Isaeva E.N., Kondratenko V.Yu., Lopina E.A., Safonova D.V., Gudkova S.A., Cherepanova N.A., Kaveshnikov V.S., Karpov R.S., Serebryakova V.N., Medvedeva I.V., Storozhok M.A., Shava V.P., Shalaeв S.V., Gutnova S.K., Tolparov G.V. [The prevalence of non-infectious diseases risk factors in Russian population in 2012-2013 years. The results of ECVD-RF]. *Cardiovascular Therapy and Prevention* 2014; 13(6):4-11 (in Russian). <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2014-6-4-11>
2. Pinto J.A., Ribeiro D.K., Cavallini A.F., Duarte C., Freitas G.S. Comorbidities associated with obstructive sleep apnea: a retrospective study. *Int. Arch. Otorhinolaryngol.* 2016; 20(2):145–150. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1579546>
3. Muxfeldt E.S., Margallo V.S., Guimarães G.M., Salles G.F. Prevalence and associated factors of obstructive sleep apnea in patients with resistant hypertension. *Am. J. Hypertens.* 2014; 27(8):1069–1078. <https://doi.org/10.1093/ajh/hpu023>
4. Kobalava Zh.D., Konradi A.O., Nedogoda S.V., Shlyakhto E.V., Arutyunov G.P., Baranova E.I., Barbarash O.L., Boitsov S.A., Vavilova T.V., Villevalde S.V., Galyavich A.S., Glezer M.G., Grineva E.N., Grinstein Yu.I., Drapkina O.M., Zhernakova Yu.V., Zvartau N.E., Kislyak O.A., Koziolova N.A., Kosmacheva E.D., Kotovskaya Yu.V., Libis R.A., Lopatin Yu.M., Nebiridze D.V., Nedoshivin A.O., Ostroumova O.D., Oschepkova E.V., Ratova L.G., Skibitsky V.V., Tkacheva O.N., Chazova I.E., Chesnikova A.I., Chumakova G.A., Shalnova S.A., Shestakova M.V., Yakushin S.S., Yanishevsky S.N. [Arterial hypertension in adults. Clinical guidelines 2020]. *Russian Journal of Cardiology* 2020; 25(3): 149–218 (in Russian). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-3-3786>
5. Morisson F., Lavigne G., Petit D., Nielsen T., Malo J., Montplaisir J. Spectral analysis of wakefulness and REM sleep EEG in patients with sleep apnoea syndrome. *Eur. Respir. J.* 1998; 11(5):1135–1140. <https://doi.org/10.1183/09031936.98.11051135>
6. Morisson F., Décary A., Petit D., Lavigne G., Malo J., Montplaisir J. Daytime sleepiness and EEG Spectral analysis in apneic patients before and after treatment with continuous positive airway pressure. *Chest* 2001; 119(1):45–52. <https://doi.org/10.1378/chest.119.1.45>
7. Mathieu A., Mazza S., Petit D., Décary A., Massicotte-Marquez J., Malo J., Montplaisir J. Does age worsen EEG slowing and attention deficits in obstructive sleep apnea syndrome? *Clin. Neurophysiol.* 2007; 118(7):1538–1544. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.009>
8. Makarov V.V., Zhuravlev M.O., Runnova A.E., Protasov P., Maksimenko V.A., Frolov N.S., Pisarchik A.N., Hramov A.E. Betweenness centrality in multiplex brain network during mental task evaluation. *Phys. Rev. E* 2018; 98(6):062413. <https://doi.org/10.1103/physreve.98.062413>
9. Selskii A., Drapkina O., Agaltsov M., Posnenkova O., Simonyan M., Zhuravlev M., Runnova A. Adaptation of recurrence plot method to study a polysomnography: changes in EEG activity in obstructive sleep apnea syndrome. *Eur.*

- Phys. J. Spec. Top.* 2023; 232:703–714. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-023-00814-8>
10. Hu Q., Li M., Li Y. Single-channel EEG signal extraction based on DWT, CEEMDAN, and ICA method. *Front. Hum. Neurosci.* 2022; 16:1010760. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.1010760>
11. Runnova A., Zhuravlev M., Orlova A., Agaltsov M., Drapkina O., Kiselev A. Structural abnormalities of brain electrical activity during night sleep in patients with obstructive apnoea syndrome. *Eur. Phys. J. Spec. Top.* 2023; 233:531–542. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-023-01056-4>
12. Selskii A.O., Egorov E.N., Ukolov R.V., Orlova A.A., Drozhdeva E.E., Mironov S.A., Doludin Yu.V., Agaltsov M.V., Drapkina O.M. Sleep-disordered breathing: statistical characteristics of joint recurrent indicators in EEG activity. *Russian Open Medical Journal* 2023; 12(4):e0401. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2023.0401>
13. Jalili M., Barzegaran E., Knyazeva M.G. Synchronization of EEG: Bivariate and Multivariate Measures. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 2014; 22(2):212–221. <https://doi.org/10.1109/tnsre.2013.2289899>
14. Knyazeva M.G., Carmeli C., Khadivi A., Ghika J., Meuli R., Frackowiak R.S. Evolution of source EEG synchronization in early Alzheimer's disease. *Neurobiol. Aging* 2013; 34(3):694–705. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2012.07.012>
15. Sakalis V., Doru Giurcaneanu C., Xanthopoulos P., Zervakis M. E., Tsiaras V., Yang Y., Karakonstantaki E., Micheloyannis S. Assessment of linear and nonlinear synchronization measures for analysing EEG in a mild epileptic paradigm. *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.* 2009; 13(4):433–441. <https://doi.org/10.1109/titb.2008.923141>
16. Moazami-Goudarzi M., Sarnthein J., Michels L., Moukhtieva R., Jeanmonod D. Enhanced frontal low and high frequency power and synchronization in the resting EEG of parkinsonian patients. *NeuroImage* 2008; 41(3):985–997. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.03.032S>
17. Khan S., Gramfort A., Shetty N.R., Kitzbichler M.G., Ganesan S., Moran J.M., Lee S.M., Gabrieli J.D.E., Tager-Flusberg H.B., Joseph R.M., Herbert M.R., Härmäläinen M.S., Kenet T. Local and long-range functional connectivity is reduced in concert in autism spectrum disorders. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 2013; 110(8):3107–3112. <https://doi.org/10.1073/pnas.1214533110>
18. Zhuravlev M., Agaltsov M., Kiselev A., Simonyan M., Novikov M., Selskii A., Ukolov R., Drapkina O., Orlova A., Penzel T., Runnova A. Compensatory mechanisms of reduced interhemispheric EEG connectivity during sleep in patients with apnea. *Sci. Rep.* 2023; 13(1):8444. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35376-1>
19. Rosenzweig I., Glasser M., Polsek D., Leschziner G.D., Williams S.C., Morrell M.J. Sleep apnoea and the brain: a complex relationship. *Lancet Respir. Med.* 2015; 3(5):404–414. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(15\)00090-9](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(15)00090-9)
20. Rostampour M., Noori K., Heidari M., Fadaei R., Tahmasian M., Khazaie H., Zarei M. White matter alterations in patients with obstructive sleep apnea: a systematic review of diffusion MRI studies. *Sleep Med.* 2020; 75:236–245. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2020.06.024>
21. Macey P.M., Kumar R., Woo M.A., Valladares E.M., Yan-Go F.L., Harper R.M. Brain structural changes in obstructive sleep apnea. *Sleep* 2008; 31(7):967–977. PMID: 18652092; PMCID: PMC2491498.

Информация об авторах:

Анна Андреевна Орлова, младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: aorlova345@yahoo.com

Михаил Викторович Агальцов, канд. мед. наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: agaltsov@rambler.ru

Максим Олегович Журавлев, канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: zhuravlevmo@gmail.com

Анастасия Евгеньевна Руннова, д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: a.e.runnova@gmail.com

Author information:

Anna A. Orlova, MD, Junior Staff Scientist, National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine; e-mail: aorlova345@yahoo.com

Mikhail V. Agaltsov, MD, PhD (Med.), Senior Staff Scientist, National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine; e-mail: agaltsov@rambler.ru

Maksim O. Zhuravlev, PhD (in Physics and Mathematics), Staff Scientist, National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine; e-mail: zhuravlevmo@gmail.com

Anastasiya E. Runnova, DSc (in Physics and Mathematics), Leading Staff Scientist, National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine; e-mail: a.e.runnova@gmail.com

Ольга Николаевна Джиева, д-р мед. наук, рук. лаборатории кардиовизуализации, вегетативной регуляции и сомнологии, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: ODzhioeva@gnicpm.ru

Olga N. Dzhioeva, MD, PhD, DSc (Med.), Head of Laboratory of Cardiac Imaging, Autonomic Regulation and Somnology, Leading Staff Scientist, National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine; e-mail: ODzhioeva@gnicpm.ru

Антон Робертович Киселев, д-р мед. наук, рук. Центра координации фундаментальной научной деятельности, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: AKiselev@gnicpm.ru

Anton R. Kiselev, MD, PhD, DSc (Med.), Head of Center for Coordination of Fundamental Scientific Activities, National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine; e-mail: AKiselev@gnicpm.ru

Оксана Михайловна Драпкина, академик РАН, д-р мед. наук, профессор, директор, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: ODrapkina@gnicpm.ru

Oxana M. Drapkina, Academician of RAS, MD, PhD, DSc (Med.), Professor, Director of National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine; e-mail: ODrapkina@gnicpm.ru

*Поступила 17.06.2024
Принята к печати 18.07.2024*

*Received June 17, 2024
Accepted July 18, 2024*
