

URL: https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attachments/000/064/610/original/BMP_COVID-19_V18.pdf (дата обращения: 20.10.2024).

18. Barbarash OL, Duplyakov DV, Zateyshchikov DA, et al. Acute coronary syndrome without ST segment elevation of the electrocardiogram. Clinical recommendations 2020. Russ J Cardiol. 2021; 26 (4): 149–202. (In Russ.) Барбараш О. Л., Дупляков Д. В., Затеищиков Д. А. и др. Острый коронарный синдром без подъема сегмента ST электрокардиограммы. Клинические

рекомендации 2020. Российский кардиологический журнал. 2021; 26 (4): 149–202. DOI: 10.15829/1560-4071-2021-4449

19. Negro A, Fama A, Penna D, et al. SFLT-1 levels in COVID-19 patients: Association with outcome and thrombosis. Am J Hematol. 2021; (2): 41–43. DOI: 10.1002/ajh.26037.

20. Alfaro E, Díaz-García E, García-Tovar S, et al. Endothelial dysfunction and persistent inflammation in severe post-COVID-19 patients: Implications for gas exchange. BMC Med. 2024; (1): 242. DOI: 10.1186/s12916-024-03461-5

Статья поступила в редакцию 29.10.2024; одобрена после рецензирования 21.11.2024; принята к публикации 22.11.2024. The article was submitted 29.10.2024; approved after reviewing 21.11.2024; accepted for publication 22.11.2024.

Информация об авторах:

Валентина Александровна Козик — ассистент кафедры госпитальной терапии и медицинской реабилитации, кандидат медицинских наук, valiya90@mail.ru, ORCID 0000-0001-7128-7887; **Любовь Анатольевна Шпагина** — заведующая кафедрой госпитальной терапии и медицинской реабилитации, профессор, доктор медицинских наук, mkb-2@yandex.ru, ORCID 0000-0003-3446-8018; **Илья Семенович Шпагин** — профессор кафедры госпитальной терапии и медицинской реабилитации, доктор медицинских наук, dr.ilya.shpagin@gmail.com, ORCID 0000-0002-3109-9811; **Локтин Евгений Михайлович** — профессор кафедры анестезиологии и реаниматологии лечебного факультета, доктор медицинских наук, emloktin@gbuzgkb2.ru, ORCID 0000-0002-7370-6958.

Information about the authors:

Valentina A. Kozik — Instructor of the Department of Hospital Therapy and Medical Rehabilitation, PhD, valiya90@mail.ru, ORCID 0000-0001-7128-7887; **Lyubov A. Shpagina** — Head of the Department of Hospital Therapy and Medical Rehabilitation, Professor, DSc, mkb-2@yandex.ru, ORCID 0000-0003-3446-8018; **Ilya S. Shpagin** — Professor of the Department of Hospital Therapy and Medical Rehabilitation, DSc, dr.ilya.shpagin@gmail.com, ORCID 0000-0002-3109-9811; **Evgeny M. Loktin** — Professor of the Department of Anesthesiology and Resuscitation of Faculty of Medicine, DSc, emloktin@gbuzgkb2.ru, ORCID 0000-0002-7370-6958.

УДК 612.067+530.182

EDN: INQZPV

<https://doi.org/10.15275/ssmj419>

Оригинальная статья

ИЗМЕНЕНИЯ МЕЖ- И ВНУТРИПОЛУШАРНОЙ СВЯЗНОСТИ У ПАЦИЕНТОВ С СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ ПРИ ОБСТРУКТИВНОМ АПНОЭ СНА

А. А. Орлова, М. В. Агальцов, А. Р. Киселев, М. О. Журавлев, О. М. Драпкина

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Минздрава России, Москва, Россия

CHANGES IN INTER- AND INTRAHEMISPHERIC CONNECTIVITY IN PATIENTS WITH CARDIOVASCULAR DISEASES AND OBSTRUCTIVE SLEEP APNEA

A. A. Orlova, M. V. Agaltsov, A. R. Kiselev, M. O. Zhuravlev, O. M. Drapkina

National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine, Moscow, Russia

Для цитирования: Орлова А. А., Агальцов М. В., Киселев А. Р., Журавлев М. О., Драпкина О. М. Изменения меж- и внутриполушарной связности у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями при обструктивном апноэ сна. Саратовский научно-медицинский журнал. 2024; 20 (4): 419–424. EDN: INQZPV. <https://doi.org/10.15275/ssmj419>.

Аннотация. Цель: анализ меры синхронизации электроэнцефалографических (ЭЭГ) сигналов у пациентов с сердечно-сосудистой патологией и при различных степенях тяжести обструктивного апноэ сна (ОАС). **Материал и методы.** Проанализировано 133 полисомнографических записей пациентов кардиологического профиля. Пациенты были разделены на 4 группы в зависимости от индекса апноэ — гипопноэ (ИАГ). На основе метода вейвлетной бикогерентности по записям полисомнографии независимо рассчитывался уровень связности электрической активности головного мозга между всеми парами ЭЭГ-каналов за всю общую продолжительность ночной записи. **Результаты.** Среднее значение межполушарной синхронизации практически на всех частотных диапазонах при увеличении ИАГ выражено снижается. Средние значения меры синхронизации затылочных ЭЭГ-сигналов по мере увеличения ИАГ в Δf_0 [4,0–8,0 Гц] демонстрируют обратнопропорциональный тренд: 0,472 [0,391; 0,585], 0,439 [0,402; 0,509], 0,418 [0,384; 0,483], 0,395 [0,359; 0,433] ($p=0,012$). Внутриполушарная связность как в левом, так и в правом полушариях превосходит межполушарную связность у пациентов, страдающих обструктивным апноэ сна, и достоверно не связана со степенью тяжести ОАС. **Заключение.** При росте ИАГ снижается межполушарная, а также избирательно повышается внутриполушарная связность. В группе пациентов с ИАГ < 10 эп/ч данная закономерность нарушается, и их показатели ЭЭГ-связности соответствуют наиболее тяжелой степени ОАС.

Ключевые слова: сердечно-сосудистые заболевания, обструктивное апноэ сна, полисомнография, вейвлет-анализ

For citation: Orlova AA, Agaltsov MV, Kiselev AR, Zhuravlev MO, Drapkina OM. Changes in inter- and intrahemispheric connectivity in patients with cardiovascular diseases and obstructive sleep apnea. Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2024; 20 (4): 419–424. (In Russ.) EDN: INQZPV. <https://doi.org/10.15275/ssmj419>.

Abstract. Objective: to analyse the measure of EEG connectivity in patients with cardiovascular diseases and obstructive sleep apnea. **Material and methods.** The patients ($n=133$) underwent polysomnography and were divided into

4 groups depending on the apnea-hypopnea index (AHI). Wavelet bicoherence method were used to assess the level of EEG connectivity for the whole duration of night sleep. **Results.** The mean value of interhemispheric connectivity decreases significantly with increasing severity of apnea syndrome almost at all frequency ranges. The mean values of occipital interhemispheric connectivity show an inversely proportional trend as AHI increases in Δf_6 [4.0–8.0 Hz]: 0.472 [0.391; 0.585], 0.439 [0.402; 0.509], 0.418 [0.384; 0.483], 0.395 [0.359; 0.433] ($p=0.012$). Intrahemispheric connectivity, both in the left and right hemispheres, is higher to interhemispheric connectivity and demonstrates heterogeneous dynamics. **Conclusions.** With increasing AHI, interhemispheric connectivity decreases and intrahemispheric connectivity increases selectively. At the same time, in the group of patients with AHI<10 ep/h, this pattern is broken, and their measures of EEG connectivity correspond to the most severe cases of apnea.

Keywords: cardiovascular diseases, obstructive sleep apnea, polysomnography, wavelet analysis

Введение. Обструктивное апноэ сна (ОАС) — это наиболее распространенное нарушение дыхания во сне, характеризующееся повторяющимися эпизодами прекращения дыхания или существенного уменьшения дыхательного потока при сохранении дыхательных усилий в результате коллапса верхних дыхательных путей. Как правило, эпизод апноэ сопровождается снижением насыщения крови кислородом и/или электроэнцефалографической (ЭЭГ) активацией [1].

Интерметтирующая гипоксемия приводит к активации провоспалительных цитокинов и эндотелиальной дисфункции, а перепады внутригрудного давления и гиперактивация симпатической системы увеличивают нагрузку давлением [2], поэтому некоторые сердечно-сосудистые заболевания ассоциированы с ОАС, такие как артериальная гипертензия, нарушения ритма сердца, хроническая сердечная недостаточность [3].

Для оценки структурных и функциональных изменений у пациентов с ОАС применяются различные методы, один из которых — количественный электроэнцефалографический анализ полисомнографических записей, в частности, оценка меры синхронизации между ЭЭГ-каналами [4, 5], рассчитанная с помощью методов нелинейной физики. Синхронизация ЭЭГ-активности может указывать на межнейрональную функциональную связь в головном мозге (ГМ) и ее нарушение при той или иной патологии [6].

По результатам ранее проведенных исследований мера межполушарной синхронизации снижается у пациентов с ОАС по сравнению со здоровыми, в то же время мера внутриполушарной синхронизации избирательно увеличивается [7–9]. Однако данная закономерность не была изучена на когорте пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями, часто сопутствующими ОАС.

Цель — анализ меры синхронизации ЭЭГ-сигналов у пациентов с сердечно-сосудистой патологией при различных степенях тяжести ОАС.

Материал и методы. Исследование проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации и получило одобрение независимого этического комитета ФГБУ «НМИЦ терапии и профилактической медицины» Минздрава России (выписка из протокола 02–03/22 от 17.03.2022); ото всех участников исследования получено информированное согласие.

Исследование выполнено на основе 133 полисомнографических записей пациентов кардиологического профиля, получавших стационарное или амбулаторное лечение в ФГБУ «НМИЦ терапии и профилактической медицины» Минздрава России. В исследование включали пациентов от 18 до 75 лет с жалобами на нарушение ночного сна/дневную

сонливость, согласившихся принять участие в исследовании. Критериями невключения были возраст пациента старше 75 лет и наличие сопутствующих заболеваний нервной системы и когнитивных нарушений, потенциально влияющих на качество записи ночной полисомнографии (болезнь Паркинсона, последствия острого нарушения мозгового кровообращения, эпилепсия, указание в анамнезе на повторные черепно-мозговые травмы и др.). Пациенты были разделены на 4 группы в зависимости от индекса апноэ — гиппноэ (ИАГ), определяющего степень тяжести ОАС: ИАГ>50 эпизодов в час (эп/ч) ($n=23$), $20 \leq \text{ИАГ} \leq 50$ эп/ч ($n=48$), $10 \leq \text{ИАГ} \leq 20$ эп/ч ($n=13$), ИАГ<10 эп/ч ($n=49$). Клиническая характеристика групп представлена в таблице.

Всем пациентам проведено комплексное ночное исследование сна с использованием стационарного полисомнографа COMETplus Grass Technologies (Astro-Med Inc., США). Монтаж полисомнограммы включал запись электроокулограммы, шести каналов ЭЭГ (O2, O1, C4, C3, F3, F4), электромиограммы подбородка, электрокардиограммы, храпа, дыхательного потока, движения грудной клетки и брюшной стенки, движений ног. Отдельно в виде цифровых значений представлялась частота пульса, сатурация и положение тела в пространстве. Каждая запись анализировалась экспертом в области медицины сна с целью создания итогового протокола исследования и заключения о степени тяжести нарушений дыхания во сне.

По ночным записям каналов ЭЭГ полисомнографии независимо рассчитывался уровень связности электрической активности ГМ между всеми парами ЭЭГ-каналов за всю общую продолжительность ночной записи. Уровень синхронизации рассчитывался для каждого из 14 частотных диапазонов: Δf_1 [0,2; 1,0], Δf_2 [0,8; 1,6], Δf_3 [1,0; 2,0], Δf_4 [1,0; 4,0], Δf_5 [4,0; 6,0], Δf_6 [4,0; 8,0], Δf_7 [6,0; 8,0], Δf_8 [8,0; 10,0], Δf_9 [8,0; 12,0], Δf_{10} [10,0; 12,0], Δf_{11} [12,0; 14,0], Δf_{12} [12,0; 20,0], Δf_{13} [20,0; 30,0], Δf_{14} [30,0; 40,0] Гц.

Для оценки связности ЭЭГ-сигналов использовался метод, основанный на расчете вейвлетной бикогерентности. Данная методика заключается в оценке комплексных коэффициентов непрерывного вейвлет-преобразования для каждого канала ЭЭГ и последующем вычислении коэффициента взаимной синхронизации двух сигналов ЭЭГ между собой. Значение коэффициента синхронизации принимает значение от 0 до 1, которое характеризует степень, или меру синхронизации исследуемых сигналов в заданный момент времени и на определенной частоте. Чем более синхронизированную или схожую в определенном частотном диапазоне динамику демонстрирует определенная пара сигналов, тем ближе значение коэффициента синхронизации к 1, и наоборот. Подробно данный метод рассмотрен в более ранней работе коллектива [9]. Соответственно, чем выше величина синхронизации, тем сильнее связность между рассматриваемой парой каналов ЭЭГ.

Ответственный автор — Анна Андреевна Орлова
Corresponding author — Anna A. Orlova
E-mail: aorlova345@yahoo.com

Клиническая характеристика групп

Параметр	ИАГ, эп/ч				p
	>50 (n=23)	20≤ИАГ≤50 (n=48)	10≤ИАГ≤20 (n=13)	<10 (n=49)	
Гипертоническая болезнь, стадия, %					
I	4,3	14,6	23,1	28,6	<0,001
II	30,4	31,3	7,7	14,3	
III	56,5	47,9	61,5	20,4	
Нарушения ритма сердца, %	29,6	25,0	16,7	40,8	
Возраст, лет	56,2 [51,9; 60,6]	59,2 [56,0; 62,3]	56,4 [47,8; 65,0]	47,6 [43,5; 51,7]	
Сахарный диабет 2-го типа, %	26,1	22,9	23,1	14,3	0,615
Женский пол, %	30,4	31,3	38,5	42,9	0,620
Курение, %	4,3	16,7	15,4	6,1	0,215
Индекс массы тела, кг/м ²	38,3 [32,7; 43,9]	32,7 [30,5; 34,9]	32,5 [29,5; 35,4]	28,6 [25,9; 31,4]	0,001
Общий холестерин, ммоль/л	5,3 [4,0; 6,6]	5,0 [4,6; 5,5]	5,3 [4,5; 6,0]	5,2 [4,6; 5,7]	0,941

Отметим, что в работе М. Zhuravlev и соавт. [9] для пациентов fourth с апноэ и практически здоровых участников ночных исследований сна было продемонстрировано, что вариабельность меры синхронизации, оцениваемой на базе вейвлетной бикогерентности, для различных стадий и в течение всей продолжительности сна невелика. Следуя данной логике, в настоящей работе изучена синхронизация электрической активности ГМ в группах пациентов с различной тяжестью обструктивного апноэ сна, зарегистрированная за всю продолжительность ночной записи сна.

Статистический анализ полученных данных проводили в программах SPSS и Statistica. Количественные показатели представлены в виде среднего или медианы и межквартильного размаха. Для качественных параметров указаны доли в процентах от общего числа наблюдений в группе. Достоверность отличий между различными группами оценивалась с использованием критерия Манна — Уитни

[10], при $p < 0,05$ отличия считались статистически значимыми. При проведении множественных сравнений учитывали поправку Бонферрони [11], отличия считали статистически значимыми при $p < 0,012$.

Результаты. Превалирующим диагнозом пациентов всех групп была гипертоническая болезнь (см. таблицу). В группе пациентов с низкой степенью тяжести ОАС или его отсутствием (ИАГ < 10 эп/ч) частота встречаемости гипертонической болезни была наименьшей, при этом частота нарушений ритма сердца — наибольшей. Пациенты этой группы были моложе и реже страдали сахарным диабетом 2-го типа. С увеличением ИАГ наблюдалась тенденция к увеличению ИМТ в группах.

Средние значения меры вейвлетной бикогерентности, то есть синхронизации для каждой из рассматриваемых групп пациентов в заданных диапазонах частот для всех пар каналов, представлены наглядно. Рис. 1 представляет собой характеристики межполушарной синхронизации симметрично расположенных

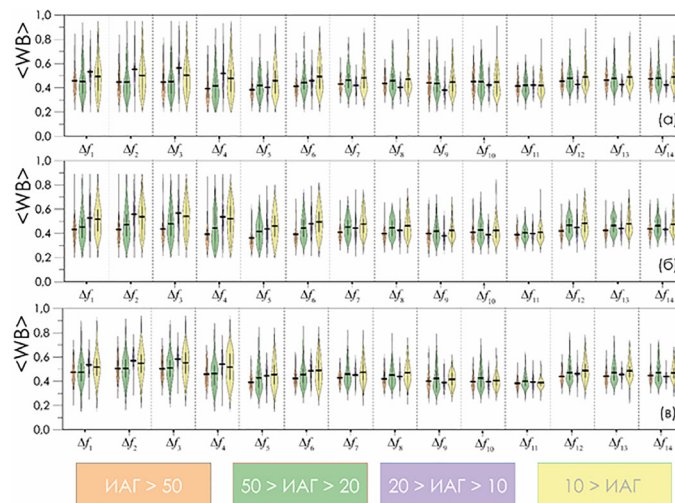


Рис. 1. Средние значения меры синхронизации, оцениваемые для симметричных затылочных (O2–O1) (а), центральных (C4–C3) (б) и фронтальных (F4–F3) (в) ЭЭГ-сигналов, представленные для различных групп пациентов в зависимости от тяжести нарушений дыхания во сне. Горизонтальная черная линия демонстрирует среднее значение распределения для каждой из групп пациентов. Здесь и далее на рис. 3, 4 цвета соответствуют значениям ИАГ: оранжевый >50 эп/ч; зеленый 20≤ИАГ≤50 эп/ч; фиолетовый 10≤ИАГ≤20 эп/ч; желтый <10 эп/ч

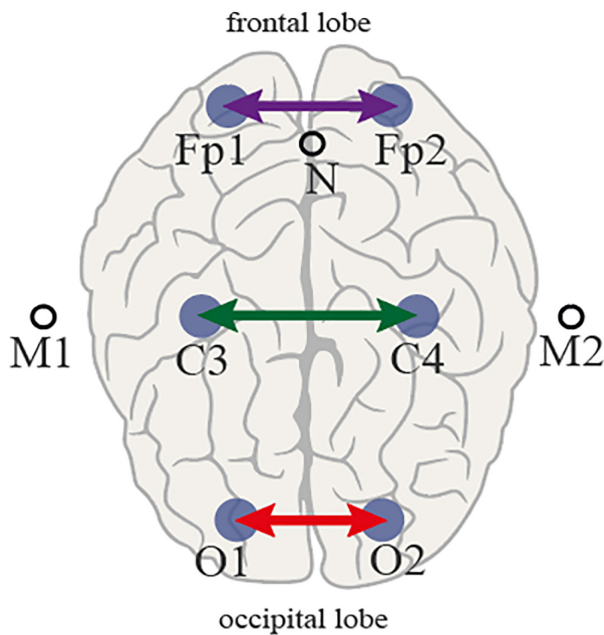


Рис. 2. Схема расположения ЭЭГ-электродов

каналов O2–O1, C4–C3 и F4–F3. Сравнимые каналы схематично изображены на рис. 2. Рис. 3 и 4 посвящены анализу связности ЭЭГ активности внутри правого и левого полушария соответственно.

Результаты исследования продемонстрировали, что среднее значение межполушарной синхронизации практически на всех частотных диапазонах при увеличении степени выраженности синдрома апноэ выражено снижается: при росте количества эпизодов апноэ в час уровень связности в электрической активности ГМ уменьшается. Однако эта закономерность нарушается для группы пациентов №3, характеризуемых ИАГ в диапазоне 10–20 эп/ч. Например, в наиболее низкочастотном диапазоне Δf_1 эта группа пациентов демонстрирует максимальное значение меры связности между каналами O2–O1, C4–C3 и F4–F3 аналогично диапазонам Δf_{2-4} . Средние значения меры синхронизации затылочных ЭЭГ-сигналов по мере увеличения ИАГ в Δf_6

демонстрируют обратнопропорциональный тренд: 0,472 [0,391; 0,585], 0,439 [0,402; 0,509], 0,418 [0,384; 0,483], 0,395 [0,359; 0,433] ($p=0,012$).

Картина правополушарной связности электрической активности ГМ представлена на рис. 3. Внутриполушарная связность как в левом, так и правом полушариях превосходит межполушарную связность у пациентов, страдающих обструктивным апноэ сна.

При рассмотрении связи O2–C4 внутри правого полушария обращает на себя внимание крайняя близость характеристик групп пациентов, характеризуемых уровнем апноэ 20–50 и более 50 эп/ч, значительно отличающихся от групп с более низкими значениями ИАГ. При снижении ИАГ до 10–20 эп/ч уровень связности существенно увеличивался. Интересно, что при минимальном значении ИАГ (менее 10 эп/ч) уровень связности в данных отведениях значительно снижался. В отведениях C4–F4 и O2–F4 средняя связность, рассчитанная для групп пациентов с ИАГ более 50 эп/ч и менее 10 эп/ч, находится на одном уровне, меньшем, чем для двух других групп пациентов.

Левое полушарие (рис. 4) также демонстрирует минимальные значения связности в группе пациентов с ИАГ менее 10 эп/ч, а максимальные величины связности для пациентов с чуть большим количеством эпизодов апноэ (от 10 до 20 эп/ч). В то же время существенно большие величины ИАГ — от 20 и от 50 эп/ч — значимо изменяют связность только в отведении O1–F3 (рис. 3, в). Заметим, что значение вейвлетной бикогерентности для данной пары ЭЭГ-отведений в группе с ИАГ, превышающей 50 эп/ч, сравнимо со значениями в группе с ИАГ в диапазоне 10–20 эп/ч. Например, для диапазона частот Δf_2 среднее значение связности составляет около 0,61 и 0,64 в группах с ИАГ > 50 и 10–20 эп/ч соответственно ($p=0,008$). Кроме того, связность для пары отведений C3–F3 минимально изменяется во всех четырех группах, значительно варьируясь только в одном диапазоне частот — Δf_{11} , снижаясь в среднем от 0,71 в группе с ИАГ более 50 эп/ч до 0,63 к группе с ИАГ менее 10 эп/ч ($p=0,874$).

Таким образом, проведенный анализ изменений в связности электрической активности ГМ у пациентов с апноэ демонстрирует, что при разном ИАГ изменение происходит неоднородно и нелинейно.

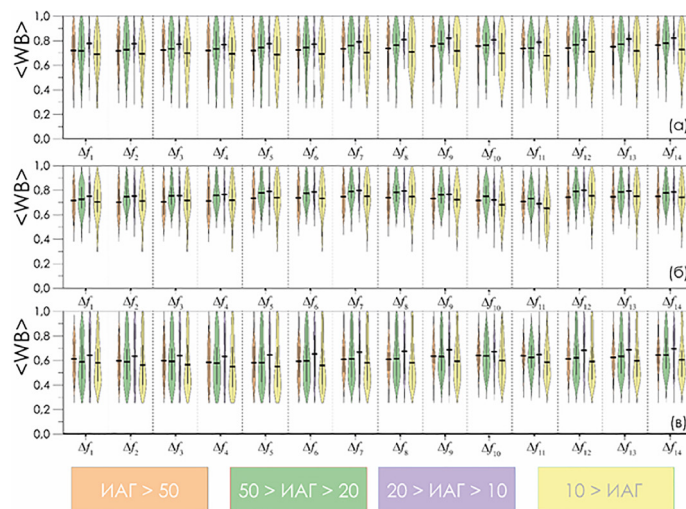


Рис. 3. Средние значения меры синхронизации, оцениваемые для ЭЭГ-сигналов, расположенных в правом полушарии головного мозга (а) O2–C4, (б) C4–F4, (в) O2–F4, представленные для различных групп пациентов в зависимости от тяжести нарушений дыхания во сне

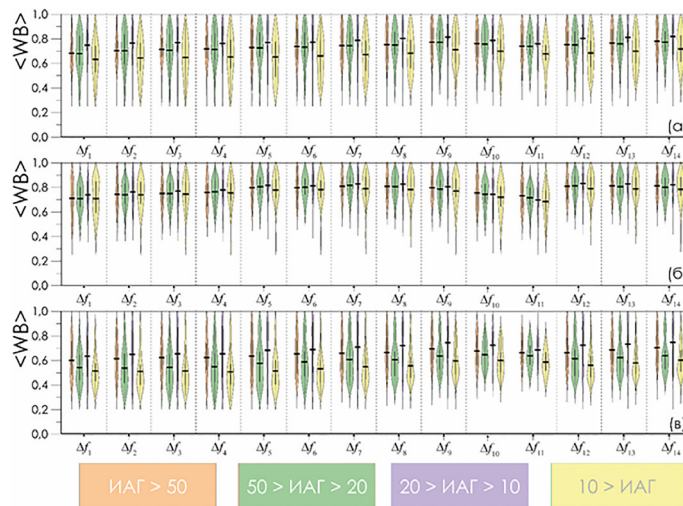


Рис. 4. Средние значения меры синхронизации, оцениваемые для ЭЭГ-сигналов, расположенных в левом полушарии головного мозга (а) О1-С3, (б) С3-Ф3, (в) О1-Ф3, представленные для различных групп пациентов в зависимости от тяжести нарушений дыхания во сне

Характеристики синхронизации для симметричных ЭЭГ каналов в областях низких частот в группах пациентов с ИАГ > 50 и 10–20 эп/ч статистически значимо различаются ($p < 0,012$). Остальные описанные качественные изменения, хотя и достаточно значительны, их количественная оценка затруднительна и достоверность различий с добавлением оценки Бонферрони по многогрупповому различию оказывается недостаточной для достоверного разделения различных групп ($p < 0,012$).

Обсуждение. Как было показано ранее, у пациентов без сердечно-сосудистых заболеваний [9] уровень межполушарной связности электрической активности ГМ между симметричными отведениями у пациентов с обструктивным апноэ сна снижается. Выявленная тенденция сохраняется и в группе пациентов с сердечно-сосудистой патологией. Данная тенденция усугубляется с ростом количества эпизодов апноэ. Несколько выделяется группа пациентов с минимальным количеством эпизодов апноэ. Как показывает анализ клинической характеристики групп, пациенты с ИАГ менее 10 эп/ч были статистически значимо моложе, имели более низкий ИМТ. При этом уровень межполушарной синхронизации в этой группе демонстрирует снижение по сравнению с группой ИАГ 10–20 эп/ч в различных диапазонах частот ЭЭГ. Такая динамика показателя межполушарной синхронизации, вероятно, связана с существенными нарушениями в характеристиках кардиоваскулярной системы, наблюдающейся у этой группы. В частности, более 40% пациентов данной группы демонстрировали клинически значимые нарушения сердечного ритма. Таким образом, несмотря на молодой возраст, пациенты с ИАГ менее 10 эп/ч уже страдали сердечно-сосудистой патологией, проявляющейся нарушениями сердечного ритма различной этиологии, и при проведении полисомнографии у них были выявлены нарушения дыхания во сне, возможно, ухудшающие течение основного заболевания. Можно предположить, что к снижению межполушарной связности электрической активности ГМ приводят не только нарушения нормального дыхательного ритма, но и нарушения сердечного ритма, как в группе больных с ИАГ менее 10 эп/ч. Однако данная гипотеза требует дальнейшего изучения.

Внутриполушарная синхронизация существенно менее выражено реагирует на выраженность апноэ в группах пациентов. Видимое отличие демонстрирует центральное отведение С3–Ф3 в левом полушарии в области мю-частотного диапазона (12–14 Гц). Здесь средняя мера связности увеличивается с ростом количества эпизодов апноэ. В целом данный факт повторяет ранее полученные результаты, показавшие рост связности или меры синхронизации в левом полушарии у пациентов с апноэ по сравнению с данными практически здоровых добровольцев [9].

Изменения в электрической активности ГМ у пациентов с ОАС по результатам количественного и качественного анализа ЭЭГ, могут быть обусловлены различными патофизиологическими механизмами. Гипоксемия, наблюдаемая у больных при обструктивном апноэ сна, препятствует нормальному отдыху и восстановительным процессам сна, что вызывает химическое и/или структурное повреждение клеток ГМ [12]. Сегодня на базе визуализационных и функциональных МРТ исследований доказано, что ГМ пациентов, страдающих обструктивным апноэ, характеризуется уменьшением объема серого и белого вещества, нарушением активности белого вещества в состоянии покоя [13, 14].

Таким образом, оценка изменений в связности электрической активности ГМ у пациентов, страдающих обструктивным апноэ сна и сердечно-сосудистыми заболеваниями — гипертонической болезнью и нарушениями сердечного ритма, может стать дополнительным инструментом независимой оценки патофизиологических изменений, происходящих в центральной нервной системе пациента. Устойчивость этих характеристик на протяжении всей ночи позволяет надеяться на возможность разработки системы независимых маркеров нарушения/изменения меры связности в электрической активности ГМ пациентов и во время бодрствования для детекции степени выраженности обструктивного апноэ сна.

Заключение. Показано, что при росте ИАГ в среднем снижается межполушарная, а также повышается внутриполушарная связность. В то же время в группе пациентов с ИАГ < 10 эп/ч данная закономерность нарушается, и их показатели связности электрической активности ГМ соответствуют наиболее тяжелым

случаям апноэ. Возможно, это связано с более высокой частотой встречаемости нарушений ритма сердца (более 40%) в данной группе пациентов.

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 терапии и профилактической медицины» Минздрава России в 2022–2024 гг.

Вклад авторов. Авторы внесли эквивалентный вклад в написание статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References (Список источников)

1. Muromtseva GA, Kontsevaya AV, Konstantinov VV, et al. 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 Russ.) Муромцева Г.А., Концевая А.В., Константинов В.В., и др. Распространенность факторов риска неинфекционных заболеваний в российской популяции в 2012–2013 гг. Результаты исследования ЭССЕ-РФ. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2014; 13 (6): 4–11. DOI: 10.15829/1728-8800-2014-6-4-11
2. Pinto JA, Ribeiro DK, Cavallini AF, et al. Comorbidities associated with obstructive sleep apnea: A retrospective study. Int Arch Otorhinolaryngol. 2016; 20 (2): 145–150. DOI: 10.1055/s-0036-1579546
3. Kobalava ZhD, Konradi AO, Nedogoda SV, et al. Arterial hypertension in adults. Clinical guidelines 2020. Russian Journal of Cardiology. 2020; 25 (3): 149–218. (In Russ.) Кобалава Ж.Д., Конради А.О., Недогода С.В. и др. Артериальная гипертензия у взрослых. Клинические рекомендации 2020. РКЖ. 2020; 25 (3): 149–218. DOI: 10.15829/1560-4071-2020-3-3786
4. Muxfeldt ES, Margallo VS, Guimarães GM, Salles GF. Prevalence and associated factors of obstructive sleep apnea in

patients with resistant hypertension. Am J Hypertens. 2014; 27 (8): 1069–78. DOI: 10.1093/ajh/hpu023

5. Selskii A, Drapkina O, Agaltsov M, et al. 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: 703–14. DOI: 10.1140/epjs/s11734-023-01056-4

6. Hu Q, Li M, Li Y. Single-channel EEG signal extraction based on DWT, CEEMDAN, and ICA method. Front Hum Neurosci. 2022; 16. DOI: 10.3389/fnhum.2022.1010760.

7. Runnova A, Zhuravlev M, Orlova A, et al. Structural abnormalities of brain electrical activity during night sleep in patients with obstructive apnoea syndrome. Eur Phys J Spec Top. 2024; 233: 531–42. DOI: 10.1140/epjs/s11734-023-01056-4

8. Selskii AO, Egorov EN, Ukolov RV, et al. Sleep-disordered breathing: statistical characteristics of joint recurrent indicators in EEG activity. Russian Open Medical Journal. 2023; 12 (4): e0401. DOI: 10.15275/rusomj.2023.0401

9. Zhuravlev M, Agaltsov M, Kiselev A, et al. Compensatory mechanisms of reduced interhemispheric EEG connectivity during sleep in patients with apnea. Sci Rep. 2023; 13 (1): 8444. DOI: 10.1038/s41598-023-35376-1

10. Mann HB, Whitney DR. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. The Annals of Mathematical Statistics. 1947; 18 (1): 50–60. DOI: 10.1214/aoms/1177730491

11. Bonferroni CE. Teoria statistica delle classi e calcolo delle probabilità. Pubblicazioni del R Istituto Superiore di Scienze Economiche e Commerciali di Firenze. 1936; 8: 1–62.

12. Rosenzweig I, Glasser M, Polsek D, et al. Sleep apnoea and the brain: A complex relationship. Lancet Respir Med. 2015; 3 (5): 404–14. DOI: 10.1016/S2213-2600(15)00090-9

13. Macey PM, Kumar R, Woo MA, et al. Brain structural changes in obstructive sleep apnea. Sleep. 2008; 31 (7): 967–77. PMID: 18652092; PMCID: PMC2491498

14. Rostampour M, Noori K, Heidari M, et al. White matter alterations in patients with obstructive sleep apnea: a systematic review of diffusion MRI studies. Sleep Med. 2020; 75: 236–45. DOI: 10.1016/j.sleep.2020.06.024

Статья поступила в редакцию 18.07.2024; одобрена после рецензирования 20.11.2024; принята к публикации 22.11.2024. The article was submitted 18.07.2024; approved after reviewing 20.11.2024; accepted for publication 22.11.2024.

Информация об авторах:

Анна Андреевна Орлова — младший научный сотрудник отдела фундаментальных и прикладных аспектов ожирения, aorlova345@yahoo.com, ORCID 0000-0002-6365-5261; **Михаил Викторович Агальцов** — старший научный сотрудник лаборатории кардиовизуализации, вегетативной регуляции и сомнологии, кандидат медицинских наук, agaltsov@rambler.ru, ORCID 0000-0002-4982-628X; **Антон Робертович Киселев** — руководитель центра координации фундаментальной научной деятельности, ведущий научный сотрудник, доктор медицинских наук, AKiselev@gnicpm.ru, ORCID 0000-0003-3967-3950; **Максим Олегович Журавлев** — научный сотрудник центра координации фундаментальной научной деятельности, кандидат физико-математических наук, zhuravlevmo@gmail.com, ORCID 0000-0002-8620-1609; **Оксана Михайловна Драпкина** — директор, академик РАН, профессор, доктор медицинских наук, ODrapkina@gnicpm.ru, ORCID 0000-0002-4453-8430.

Information about the authors:

Anna A. Orlova — Junior Researcher of the Division of Fundamental and Applied Aspects of Obesity, aorlova345@yahoo.com, ORCID 0000-0002-6365-5261; **Mikhail V. Agaltsov** — Senior Researcher of the Laboratory of Cardiovisualisation, Vegetative Regulation and Somnology, PhD, agaltsov@rambler.ru, ORCID 0000-0002-4982-628X; **Anton R. Kiselev** — Head of Center for Coordination of Fundamental Scientific Activities, Leading Researcher, DSc, AKiselev@gnicpm.ru, ORCID 0000-0003-3967-3950; **Maksim O. Zhuravlev** — Researcher of the Center for Coordination of Fundamental Scientific Activities, PhD, zhuravlevmo@gmail.com, ORCID 0000-0002-8620-1609; **Oksana M. Drapkina** — Director, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, DSc, ODrapkina@gnicpm.ru, ORCID 0000-0002-4453-8430.