



¹ Институт
высшей
нервной
деятельности
и нейрофизиологии
РАН

² Медицинский
институт
ФГАОУ ВО
«Российский
университет
дружбы народов
им. Патриса Лумумбы»

Нейрофизиологический анализ ритмичного диафрагмального дыхания при засыпании после использования этого дыхания в домашних условиях

В.Б. Дорохов, д.б.н.¹, Е.А. Черемушкин, к.б.н.¹, А.Е. Манаенков¹,
Е.О. Гандина¹, Д.Е. Шумов, к.б.н.^{1,2}, К.З. Авакян¹, С.И. Журавлева¹,
Н.В. Лигун, к.б.н.¹, Д.С. Свешников, д.м.н.²

Адрес для переписки: Владимир Борисович Дорохов, vbdorokhov@mail.ru

Для цитирования: Дорохов В.Б., Черемушкин Е.А., Манаенков А.Е. и др. Нейрофизиологический анализ ритмичного диафрагмального дыхания при засыпании после использования этого дыхания в домашних условиях. Эффективная фармакотерапия. 2026; 22 (27): 10–14.

DOI 10.33978/2307-3586-2026-22-27-10-14

В работе описаны изменения нейрофизиологических показателей в ходе ритмичного диафрагмального дыхания (ДД) с частотой 6 циклов в минуту и последующего засыпания. Регистрировались следующие параметры: абдоминальное дыхание с одновременным нажатием на кнопку (датчик, регистрирующий силу нажатия), электроэнцефалограмма (ЭЭГ) в 20 каналах и электрокардиограмма (ЭКГ). Проведены два лабораторных эксперимента – до и после домашнего курса тренировок с ДД. Процедура включала три этапа: 1) короткое произвольное дыхание (пять минут); 2) ДД на ритмический стимул (30 минут); 3) засыпание, при котором ритмический стимул продолжал подаваться, однако ДД прекращалось, кнопка не регистрировалась, а частота дыхания увеличивалась. В серии после домашнего обучения анализ ЭКГ показал достоверное снижение частоты сердечных сокращений на всех трех последовательных этапах теста, а вариабельность сердечного ритма при ДД была достоверно выше по сравнению с произвольным дыханием (этап 1) и засыпанием (этап 3). Анализ ЭЭГ выявил достоверное снижение альфа-ритма при засыпании, которому соответствовало достоверное увеличение тета-ритма.

Ключевые слова: ритмичное диафрагмальное дыхание, бодрствование, засыпание, нажатия кнопки, ЭКГ, альфа- и тета-ритмы ЭЭГ

Введение

Осознанное управление дыханием в последнее время вызвало большой всплеск общественного интереса, и это не случайно: дыхательные техники обладают терапевтическим потенциалом для улучшения психического здоровья [1]. В обновленных рекомендациях Американской академии медицины сна дыхательные упражнения рассматриваются как эффективный способ лечения хронической бессонницы у взрослых [2]. Эти техники имеют сложные исторические корни в различных традициях (йога, тибетский буддизм) и все шире применяются в научной и медицинской среде, в том числе как когерентное (резонансное) диафрагмальное дыхание

(ДД). Дыхательные практики становятся все более популярными на Западе не только из-за предполагаемого положительного влияния на здоровье и самочувствие, но и в связи с последствиями COVID-19, затронувшими дыхательную систему. Однако клинические исследования и психиатрические сообщества изучили их лишь частично.

Нарушения сна отмечаются у большинства людей с расстройствами вегетативной нервной системы (ВНС), что обусловлено высоким уровнем симпатической активности в дневное время, при засыпании и во время ночного сна. Практика медленного ДД активирует парасимпатическую ветвь ВНС и тормозит симпатическую, что облегчает засыпание [1].



Медленное дыхание (также называемое глубоким, или когерентным) – это практика снижения стресса, тревожности и улучшения сна, при которой человек добровольно замедляет частоту дыхания до значений, близких к шести циклам в минуту. Эта частота соответствует резонансной частоте сердечно-сосудистой системы, влияя на частоту сердечных сокращений (ЧСС) и артериальное давление [3]. Как известно, ЧСС и дыхание синхронизируются (резонируют) при шести вдохах в минуту (0,1 Гц) [4]. Считается, что дыхание на резонансной частоте максимизирует амплитуду колебаний сердечного ритма и вариативности сердечного ритма (BCP) [5]. Соответственно, медленная частота дыхания, близкая к резонансной, обеспечивает наибольшую BCP и усиление барорефлекса [6]. Более высокие значения BCP, обусловленные дыхательной синусовой аритмией, позволяют поддерживать устойчивую реакцию на изменения дыхания и, следовательно, формировать более адаптивную систему реагирования на стресс.

Современное состояние психического здоровья в мире в сочетании с трудностями доступа к психологической терапии требует легкодоступных и масштабируемых методов. Дыхательным упражнениям можно легко обучить как инструкторов, так и практикующих специалистов, а также проводить занятия в группах, в том числе удаленно (онлайн), с использованием синхронных и асинхронных форматов. Если задать человеку внешними стимулами ритм ДД (такое дыхание иногда называют ритмичным, англ. *paced breathing*), то парасимпатическая активация будет максимальной, что положительно отразится на состоянии здоровья [3].

ДД активно используется для контроля стресса, тревожности и панических состояний [1, 7, 8]. В последнее время появилось много разработок с использованием онлайн-программ, позволяющих в домашних условиях применять ДД. Следует подчеркнуть, что в большинстве указанных работ для оценки эффективности дыхательных упражнений использовались психологическое анкетирование и анализ BCP, реже – анализ полисомнограммы (ПСГ). В исследованиях с регистрацией электроэнцефалограммы (ЭЭГ) при ДД часто наблюдается увеличение альфа-ритма [9, 10]. В последнее время дыхательную гимнастику с использованием ДД начали активно применять для изучения процесса засыпания и сна [11–13]. Пандемия COVID-19 стимулировала появление онлайн-программ с применением ДД для улучшения сна, в том числе в формате длительных тренировок. В большинстве публикаций используются простые методы ДД с анализом психологических тестов, дневников сна и показателей сердечной деятельности [14, 15].

Цель данной работы – лабораторный анализ дыхательных тренировок с глубоким ДД под звуковой сигнал с частотой 6 раз/мин, с регистрацией нажатий на кнопку, ЭЭГ и электрокардиограммой (ЭКГ) в серии с ДД после предварительного домашнего обучения с использованием смартфона и аналогичной звуковой стимуляции [12, 16].

Материал и методы

Оборудование

Запись ПСГ проводили с помощью усилителя «Нейровизор БММ-36» в комплекте с электродным шлемом MCSleep и программным обеспечением NeoRec 1.4. ПСГ состояла из 20 каналов ЭЭГ, подключенных по монополярной схеме 10–20 с двумя референтными электродами на мастоидных костях, два канала электроокулограммы, один канал ЭКГ, один канал электромиограммы, один канал дыхательного показателя (абдоминального) и канал нажатия на кнопку (с регистрацией силы нажатия). Частота дискретизации составляла 500 Гц. На отдельном смартфоне была установлена программа для подачи звуковых стимулов с заданной частотой (6 раз/мин): щелчок (длительность 0,01 с) и последующий шум морской волны (длительность 4,5 с). Стимуляцию предъявляли испытуемому, одновременно записывая эти данные на компьютер параллельно с ПСГ. Испытуемые в ответ на щелчок нажимали на кнопку и затем делали вдох и выдох. В результате формировался навык дыхания с частотой 6 раз/мин.

Для домашних исследований с ДД испытуемые получали смартфон со специальной программой, повторяющей условия лабораторного эксперимента (щелчок и звук морской волны), а также бесконтактные устройства. Домашние эксперименты в данной работе не анализировались.

Испытуемые

В исследовании участвовало 17 испытуемых (9 женщин) в возрасте 18–22 лет ($20 \pm 1,04$ года) – студентов медицинского факультета Российского университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы без жалоб на сон и психических расстройств. В представляемой работе анализировали данные 14 субъектов: двух исключили из-за быстрого засыпания (период ДД был недостаточно длительным для анализа), одного – из-за отсутствия сна. Перед началом эксперимента каждый испытуемый подписывал форму информированного согласия и заполнял анкету. Кроме того, испытуемых инструктировали о необходимости сократить продолжительность ночного сна на два часа по сравнению с привычной. Длительность ночного сна определяли по актиграфу Condor ActTrust 2 (Бразилия).

Процедура измерений

С каждым испытуемым проводили три лабораторных эксперимента и домашнее обучение со смартфоном: два эксперимента (произвольное дыхание в нормальном ритме и ДД под звук 6 раз/мин) до домашнего обучения с ДД, а после домашнего обучения – третий лабораторный эксперимент с ДД под звук 6 раз/мин. Лабораторные эксперименты с регистрацией ДД проводили по следующей схеме: 1) короткое произвольное дыхание – пять минут; 2) длительная регистрация ДД на ритмический стимул до исчезновения ДД и прекращения нажатий на кнопку (что означало засыпание и сон) – 30 минут. Между двумя сериями



с ДД проводилось аналогичное обучение в домашних условиях со смартфоном перед ночным засыпанием (эти данные не анализировали), однако сам лабораторный эксперимент с ДД после домашнего обучения использовался в анализе, поскольку это улучшало качество выполнения ДД.

Испытуемый располагался на кушетке в вентилируемой камере при стабильной температуре воздуха, свет в камере выключали, весь опыт проходил при закрытых глазах испытуемого. Для одного испытуемого время всех лабораторных и домашних экспериментов составляло около месяца.

Обработка результатов измерений

Для обработки полученных ПСГ были написаны пользовательские программы на языке Python 3.9 с использованием библиотек MNE и NeuroKit2. Статистические расчеты осуществлялись с помощью пакета R 4.3.2 [17]. Для анализа выделяли три этапа по четырехминутным отрезкам записи: 1) произвольное дыхание (фон, в самом начале опыта); 2) бодрствование (выполнение дыхательной задачи 6 раз/мин) – от команды начинать ДД; 3) засыпание – от первого пропуска нажатия на кнопку.

Поведенческие данные

Нажатия на кнопку размечали в полуавтоматическом режиме с помощью библиотеки NeuroKit2 v. 0.2.10: сначала в механограмме кнопок определяли пики с помощью функции `signal_findpeaks` [18], затем полученная разметка проверялась и корректировалась двумя экспертами. На основании данных о нажатиях выделяли сегменты с отсутствием активности (засыпание) – критерием сна служило отсутствие нажатий в течение более десяти секунд.

Данные дыхания, кнопки и ЭКГ

Определяли амплитуду дыхания по величине пиков (вдох) и впадин (выдох), а также частоту дыхательных движений (ЧДД) на этапах 1–3. Силу нажатий кнопки измеряли в условных единицах. Для анализа сердечных показателей R-пики выделяли с помощью функции `ecg_peaks` библиотеки NeuroKit2 (алгоритм

по умолчанию). На основании R-пиков и экстремумов дыхания вычисляли ЧСС и ВСР. Последнюю оценивали по алгоритму P2T (разница между самым длинным RR-интервалом на выдохе и самым коротким на вдохе) с помощью функции `hrv_rsa`. При сравнении трех этапов (1–3) использовали критерий Фридмана (непараметрический аналог ANOVA для ненормально распределенных данных).

Данные ЭЭГ

На этапе предобработки из ЭЭГ удаляли артефакты ЭКГ и морганий, а также отмечали временные интервалы, непригодные для спектрального анализа. Спектры ЭЭГ в диапазоне 1–30 Гц вычисляли методом Уэлша без перекрытий; размер сегмента составлял 500 точек (1 с). Сравнение показателей поведения, дыхания, кнопки, ЭКГ и ЭЭГ проводили с помощью однофакторного дисперсионного анализа с повторными измерениями (критерий Фридмана), а парные сравнения – с помощью критерия Уилкоксона. Использовали пакет SPSS 13.0.

Результаты

При анализе ЧДД критерий Фридмана показал статистически значимые различия между тремя этапами ($\chi^2 = 12,44$; $df = 2$; $p = 0,002$). Это обусловлено достоверным уменьшением ЧДД при переходе от произвольного дыхания к ритмичному ($Z = 3,30$; $p = 0,001$), но не при переходе от ритмичного ДД к засыпанию. Визуализация представлена на рис. 1.

Анализ амплитуды дыхания на трех этапах продемонстрировал достоверное ее увеличение во время ДД (этап 2) по сравнению с этапами 1 и 3. Согласно критерию Фридмана, выявлена статистическая значимость изменений величины пика дыхания (вдох) в целом по этапам ($\chi^2 = 7,704$; $df = 2$; $p = 0,021$). При этом пик значимо возрос от этапа 1 (произвольное дыхание; $M = 1,61$, где M – среднее по выборке из 14 испытуемых) к этапу 2 (выполнение ДД без пропусков нажатий при каждом вдохе; $M = 2,23$; $Z = 2,48$; $p = 0,013$) и значимо снизился от этапа 2 ($M = 2,23$) к этапу 3 (ДД с пропусками, то есть периодами микросна; $M = 1,45$; $Z = 2,75$; $p = 0,006$). Аналогично по критерию Фридмана показана статистическая значимость изменений величины впадины дыхания (выдох) в целом на этапах 1–3 ($\chi^2 = 7,704$; $df = 2$; $p = 0,021$). Впадина значимо возросла от этапа 1 (произвольное дыхание; $M = 1,63$) к этапу 2 (начало выполнения ДД, без пропусков нажатий при каждом вдохе; $M = 2,21$; $Z = 2,17$; $p = 0,03$) и статистически значимо уменьшилась от этапа 2 ($M = 2,04$) к этапу 3 (ДД с пропусками, то есть периодами микросна; $M = 1,43$; $Z = 2,75$; $p = 0,006$).

Анализ силы нажатий на кнопку не выявил статистически значимых различий между этапами ($\chi^2 = 5,06$; $df = 2$; $p = 0,08$). Однако наблюдалась тенденция к увеличению силы нажатий при переходе от произвольного к ритмичному дыханию ($Z = 1,85$; $p = 0,064$) и снижению силы нажатий при засыпа-

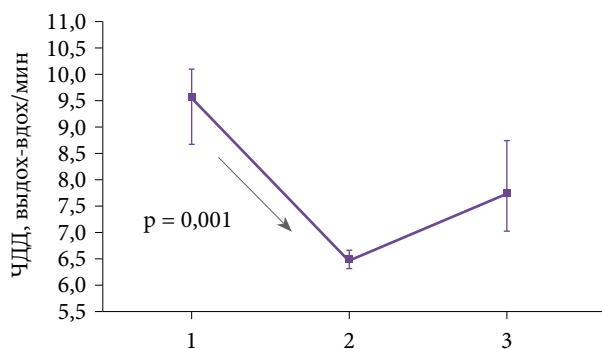


Рис. 1. Визуализация средних значений ЧДД между этапами (приведены ошибки средних; стрелкой указано статистически значимое изменение показателя от этапа к этапу)



нии ($Z = 2,13$; $p = 0,033$). Визуализация представлена на рис. 2.

В отношении ЧСС анализ показал статистически значимое различие между этапами ($\chi^2 = 10,82$; $df = 2$; $p = 0,004$). Этот результат определяется уменьшением ЧСС при засыпании ($Z = 2,82$; $p = 0,005$).

Что касается ВСР, критерий Фридмана выявил статистически значимые различия на этапах 1–3 ($\chi^2 = 5,78$; $df = 2$; $p = 0,056$). При этом попарные сравнения показали увеличение ВСР при переходе к ритмичному дыханию ($Z = 2,48$; $p = 0,013$) и уменьшение ВСР при засыпании ($Z = 2,28$; $p = 0,023$). Визуализация представлена на рис. 3.

Для тета-ритма критерий Фридмана показал статистически значимое различие ($\chi^2 = 19,0$; $df = 2$; $p = 0,00007$). Это определяется увеличением логарифма мощности тета-ритма ЭЭГ при засыпании ($Z = 3,23$; $p = 0,0013$). Для альфа-ритма различия также статистически значимы ($\chi^2 = 21,0$; $df = 2$; $p = 0,00003$), что обусловлено достоверным снижением мощности альфа-ритма при засыпании ($Z = 3,11$; $p = 0,002$). Визуализация представлена на рис. 4.

Обсуждение

В работе протестированы 14 испытуемых с анализом ДД для быстрого засыпания как в дневное время (лабораторные исследования), так и при домашнем обучении перед ночным сном (домашнее обучение не анализировалось). Результаты связаны с определенными трудностями в обучении ДД, которые, однако, преодолевались в ходе домашних тренировок. Обучение ДД не требует полной автоматизации за одно занятие: первые два-три дня испытуемые использовали ДД на сознательном уровне, а переход к автоматизму происходил после одной-двух недель тренировок. Известно, что ДД – это не просто «подышать животом», а психофизиологическая перестройка, связанная с тремя барьерами: двигательным стереотипом (грудной тип дыхания), вегетативной реакцией (тревога при замедлении) и биомеханикой (слабая диафрагма). Увеличение амплитуды и снижение частоты дыхания – нормальное явление при ДД; полученные нами результаты подтверждают существующие представления о ДД. Анализ ЭКГ показал снижение ЧСС на всех трех этапах со статистически значимым различием при переходе от ДД к засыпанию. ВСР достоверно различалась между произвольным дыханием (этап 1) и засыпанием (этап 3).

Сравнительный анализ ЭЭГ для альфа- и тета-ритмов после домашнего обучения продемонстрировал, что при отсутствии нажатий на кнопку появляется тета-ритм. При наличии нажатий альфа-ритм был несколько выше, но при снижении силы нажатий амплитуда альфа-ритма уменьшалась. При исчезновении нажатий, что соответствует засыпанию, средняя мощность альфа-ритма достоверно снижается, а средняя мощность тета-ритма достоверно возрастает, что наглядно демонстрируют представленные результаты. Это указывает на наступление сна (стадии I–II) при прекращении нажатий, поскольку

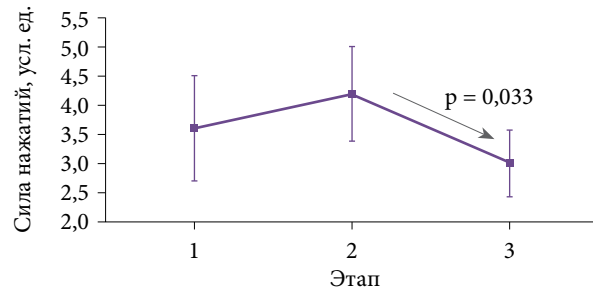


Рис. 2. Визуализация средних значений силы нажатий между этапами (обозначения, как на рис. 1)

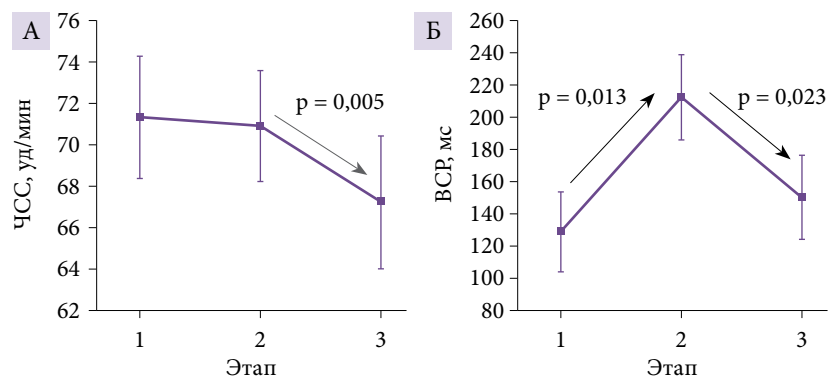


Рис. 3. Визуализация средних значений показателей ЭКГ между этапами: А – ЧСС, Б – ВСР (обозначения, как на рис. 1)

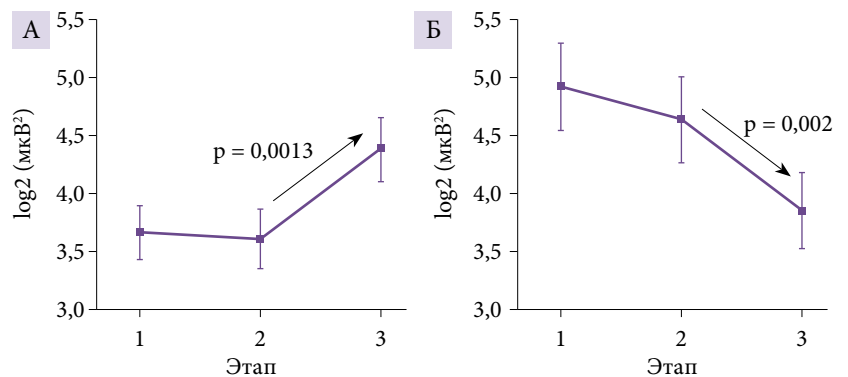


Рис. 4. Визуализация средних значений показателей ЭЭГ между этапами: А – логарифм мощности тета-ритма ($\log_2$ (мкВ²)), Б – логарифм мощности альфа-ритма ($\log_2$ (мкВ²)) (обозначения, как на рис. 1)

появляется тета-ритм [12]. Сходные результаты описаны в работе А.Е. Khuurak и соавт. [13], однако в доступной литературе нам не встретилось исследований, в которых диафрагмальное дыхание столь быстро приводило бы к развитию стадии II сна с исчезновением альфа-ритма и появлением тета-ритма. Сравнение двух вариантов дыхания – только ритмичное ДД и ритмичное ДД в сочетании с мышечным расслаблением – показывает, что добавление мышечного расслабления усиливает физиологические эффекты [19, 20]. Учитывая это, мы планируем проведение экспериментов с добавлением к ДД мышечного расслабления и коротких рассказов для усиления данного подхода и повышения эффективности засыпания. *



Литература

1. Fincham G.W., Strauss C., Montero-Marin J., Cavanagh K. Effect of breathwork on stress and mental health: a meta-analysis of randomised-controlled trials. *Sci. Rep.* 2023; 13 (1): 432.
2. Edinger J.D., Arnedt J.T., Bertisch S.M., et al. Behavioral and psychological treatments for chronic insomnia disorder in adults: an American Academy of Sleep Medicine clinical practice guideline. *J. Clin. Sleep Med.* 2021; 17 (2): 255–262.
3. Laborde S., Hosang T., Mosley E., et al. Influence of a 30-day slow-paced breathing intervention compared to social media use on subjective sleep quality and cardiac vagal activity. *J. Clin. Med.* 2019; 8 (2): 193.
4. Steffen P.R., Austin T., DeBarros A., Brown T. The impact of resonance frequency breathing on measures of heartrate variability, blood pressure, and mood. *Front. Public Health.* 2017; 5: 222.
5. Vaschillo E.G., Vaschillo B., Lehrer P.M. Characteristics of resonance in heart rate variability stimulated by biofeedback. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback.* 2006; 31 (2): 129–142.
6. Lehrer P.M., Gevirtz R. Heart rate variability biofeedback: how and why does it work? *Front. Psychol.* 2014; 5: 756.
7. Zaccaro A., Piarulli A., Laurino M., et al. How breath-control can change your life: a systematic review on psycho-physiological correlates of slow breathing. *Front. Hum. Neurosci.* 2018; 12: 409421.
8. Luo Q., Li X., Zhao J. et al. The effect of slow breathing in regulating anxiety. *Sci. Rep.* 2025; 15 (1): 8417.
9. Duda A.T., Clarke A.R., Barry R.J. Differential effects of mindfulness meditation and paced breathing on neural oscillations and arousal. *Mindfulness.* 2025; 16: 2683–2698.
10. Park Y.J., Park Y.B. Clinical utility of paced breathing as a concentration meditation practice. *Complement. Ther. Med.* 2012; 20 (6): 393–399.
11. Dorokhov V.B., Puchkova A.N. Neurotechnologies for the nonpharmacological treatment of sleep disorders. *Neuroscience and Behavioral Physiology.* 2022; 52: 1030–1044.
12. Сазонова М.М., Шумов Д.Е., Суворов Р.В., Дорохов В.Б. Глубокое медленное дыхание и сон. Эффективная фармакотерапия. 2022;18 (36): 12–18.
13. Khuurak A.E., Shumov D.E., Sveshnikov D.S., et al. A 15-minute abdominal breathing exercise promotes nap in undergraduates: instrumental study findings. *J. Evol. Biochem. Phys.* 2024; 60 (Suppl. 1): S115–S124.
14. Liu Y., Jiang T.T., Shi T.Y., et al. The effectiveness of diaphragmatic breathing relaxation training for improving sleep quality among nursing staff during the COVID-19 outbreak: a before and after study. *Sleep Med.* 2021; 78: 8–14.
15. Zhuang Z., Xue B., An Q., et al. Advancing sleep health equity through deep learning on large-scale nocturnal respiratory signals. *Nat. Commun.* 2025; 16 (1): 9334.
16. Способ контроля ускорения засыпания на основе диафрагмального дыхания : патент 2804209 РФ / Дорохов В.Б., Лигун Н.В., Суворов Р.В. Опубл. 26.09.2023. Бюлл. № 27.
17. Makowski D., Pham T., Lau Z.J., et al. NeuroKit2: a Python toolbox for neurophysiological signal processing. *Behav. Res. Methods.* 2021; 53 (4): 1689–1696.
18. Gramfort A., Luessi M., Larson E., et al. MEG and EEG data analysis with MNE-Python. *Front. Neurosci.* 2013; 7: 267.
19. Novianti I.S.W. The difference effectiveness between progressive muscle relaxation and slow deep breathing exercise in improving sleep quality among the elderly in Banjar Samu Singapadu Kaler village Sukawati district. *Intan Husada: Jurnal Ilmiah Keperawatan.* 2025; 13 (01): 36–45.
20. Pathan F.K.M., Pandian J.S., Shaikh A.I. et al. Effect of slow breathing exercise and progressive muscle relaxation technique in the individual with essential hypertension: a randomized controlled trial. *Medicine (Baltimore).* 2023; 102 (47): e35792.

Neurophysiological Analysis of Rhythmic Diaphragmatic Breathing During Falling Asleep After Using This Breathing Technique at Home

V.B. Dorokhov, PhD¹, E.A. Cheremushkin, PhD¹, A.E. Manaenkov¹, E.O. Gandina¹, D.E. Shumov, PhD^{1, 2}, K.Z. Avakyan¹, S.I. Zhuravleva¹, N.V. Ligun, PhD¹, D.S. Sveshnikov, PhD²

¹ Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS

² Medical Institute of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education 'People's Friendship University of Russia'

Contact person: Vladimir B. Dorokhov, vbdorokhov@mail.ru

This study describes changes in neurophysiological parameters during rhythmic diaphragmatic breathing (DB) at a frequency of 6 cycles per minute and subsequent falling asleep. The following parameters were recorded: abdominal breathing with simultaneous button pressing (a sensor registering pressing force), electroencephalogram (EEG) in 20 leads, and electrocardiogram (ECG). Two laboratory experiments were conducted – before and after a home-based training course with DB. The procedure included three stages: 1) short voluntary breathing (5 min); 2) DB paced by a rhythmic stimulus (30 min); 3) falling asleep, during which the rhythmic stimulus continued to be presented, but DB ceased, the button press was no longer registered, and the respiratory rate increased. In the post-training series, ECG analysis revealed a significant decrease in heart rate across all three consecutive test stages, and heart rate variability during DB was significantly higher compared to voluntary breathing (stage 1) and to falling asleep (stage 3). EEG analysis showed a significant decrease in alpha rhythm during falling asleep, accompanied by a significant increase in theta rhythm.

Keywords: rhythmic diaphragmatic breathing, wakefulness, falling asleep, button pressing, ECG, EEG alpha and theta rhythms