
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

**15-МИНУТНОЕ УПРАЖНЕНИЕ В ДИАФРАГМАЛЬНОМ ДЫХАНИИ,
СПОСОБСТВУЮЩЕЕ УГЛУБЛЕНИЮ ДНЕВНОГО СНА У СТУДЕНТОВ:
РЕЗУЛЬТАТЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

© 2025 г. А. Э. Хуурак², Д. Е. Шумов^{1,2,*}, Д. С. Свешников², З. В. Бакаева²,
Е. Б. Якунина², В. И. Торшин², В. В. Дементенко³, В. Б. Дорохов¹

¹*Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва, Россия*

²*Медицинский институт, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия*

³*АО «Нейроком», Москва, Россия*

*E-mail: shumov_de@pfur.ru

Поступила в редакцию 06.10.2024 г.

После доработки 01.11.2024 г.

Принята к публикации 11.11.2024 г.

Цель исследования – подтвердить с помощью полисомнографии (ПСГ) эффективность метода глубокого диафрагмального дыхания как средства улучшения дневного сна здоровых испытуемых. В исследовании участвовали 43 здоровых испытуемых, из которых 22 человека вошли в экспериментальную группу и 21 – в контрольную. В экспериментальной группе в течение 30 мин записывали ПСГ дневного сна после выполнения ДД в течение 15 мин. В контрольной группе аналогичную ПСГ записывали после 15 мин бодрствования. Для оценки качества сна на основе гипнограмм испытуемых были определены стандартные его характеристики (латентность и т.п.). В экспериментальной группе достоверно больше было общее время сна и достоверно ниже – индекс активации; латентность сна различалась между группами недостоверно. Кроме того, анализировали соотношение спектральной мощности электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в частотных диапазонах альфа- (8–13 Гц) и тета- (4–8 Гц). В рамках статистического анализа была построена линейная регрессионная модель зависимости отношения мощности альфа/тета от времени. На основании сравнения коэффициентов данной модели, наряду со сравнением временных параметров сна, сделан вывод, что выполнение диафрагмального дыхания перед коротким дневным сном включает физиологические механизмы, ускоряющие засыпание, и делает сон более устойчивым. Этот вывод может быть полезен при разработке неинвазивных подходов к лечению инсомнии.

Ключевые слова: дневной сон, дыхание, инсомния

DOI: 10.31857/S0869813925020093, **EDN:** UIHOGR

ВВЕДЕНИЕ

Поиск средств улучшения сна – нетривиальная проблема в современном обществе, по крайней мере, у городских жителей, потому что из-за обилия напряжений люди спят плохо. Иногда это связано с уже диагностированными заболеваниями, иногда эти за-

болевания могут возникнуть через некоторое время как следствие инсомнии. Но даже если этого не происходит, инсомния, безусловно, снижает качество жизни человека, поэтому лучше от нее избавиться. В настоящее время существует несколько подходов для достижения этой цели. Если сравнивать между собой их эффективность, то, как всегда, у каждого из них есть свои достоинства и недостатки, поэтому на практике лучше использовать все в комплексе.

1. Самый простой подход – фармакологический, потому что он требует минимум усилий со стороны пациента. Все берут на себя разработчики и производители препаратов. Они могут быть синтетическими, на основе натурального сырья, но их рассмотрение выходит за рамки задач настоящего исследования.
2. Подход, связанный с гигиеной сна. Он предусматривает в первую очередь четко определенное время отхода ко сну, снижение всевозможных жизненных факторов напряжения, определенные ритуалы отхода ко сну, особую обстановку места для сна, диетические рекомендации и т.д. Поведенческие и психологические методы гигиены сна, рекомендованные AASM (Американской академией медицины сна), приведены в работе [1].
3. Нефармакологические средства улучшения сна [2]. В их числе можно назвать: различные методы сенсорного воздействия, стимуляцию различными видами электромагнитных полей, методики, основанные на словесных внушениях или самовнушениях (суггестивные методы), и методы управления дыханием. Суггестивные и дыхательные методики можно отнести также к гигиене сна.
 - 3.1. Методы сенсорного воздействия (светового, звукового, тактильного и т.д.). Как правило, эффект такого воздействия основан на навязанном изменении ритмической активности головного мозга с целью формирования картины ЭЭГ, свойственной той или иной глубине сна.
 - 3.2. Стимуляция электромагнитными полями. Сюда относятся транскраниальная электрическая и магнитная стимуляция, а также бесконтактная сверхслабая электромагнитная стимуляция.
 - 3.3. Суггестивные методы. Изначально они возникли в психотерапии. Но когда дело касается улучшения сна, граница между психотерапией и нефармакологическими подходами становится весьма условной. Особенно, если они применяются комплексно, как в случае суггестии на фоне звуковых стимулов [3].
 - 3.4. Методы управления дыханием. В отличие от спокойного бодрствования, дыхание во время *медленного сна* медленное и регулярное. При этом объем вдоха увеличивается, а частота дыхания и общая вентиляция легких снижаются. Это обусловлено снижением метаболических потребностей, хотя обычно наблюдается небольшой рост концентрации CO_2 в крови. Подобное усиление химической стимуляции дыхания компенсирует ослабление иных, связанных с бодрствованием, центральных стимулов [4].

Что касается *быстрого сна (БДГ)*, то дыхание в этой фазе характеризуется большой вариабельностью вдоха и выдоха. Это касается как их объема, так и длительности. В отличие от циклического напряжения и расслабления дыхательных мышц, характерного для медленного сна, во время БДГ-сна их активность нерегулярна, часто прерывается на короткий период. Непродолжительные паузы в диафрагмальной респирограмме БДГ-сна длительностью около 50 мс известны как «фракции». У здоровых людей и животных мышцы верхних дыхательных путей временами испытывают фазические подергивания, амплитуда и частота которых увеличиваются с каждым последующим эпизодом БДГ-сна. По некоторым данным, изменчивость дыхания в БДГ-сне имеет

слабую тенденцию коррелировать по времени с другими его физическими событиями, например спонтанными движениями глаз. [4]

Целью описанного в данной статье исследования было показать эффективность управления дыханием как средством улучшения сна. Такой интерес связан с определенным «потолком», который наблюдается в современных исследованиях других методов. Кроме того, имеющиеся результаты показывают высокую эффективность дыхательных методик для улучшения сна при полном отсутствии каких-либо побочных эффектов. Зарождение интереса к данным методам можно проследить в достаточно старых работах. Например, в [5] было установлено снижение латентности сна при помощи простого упражнения по задержке дыхания, хотя четко не описана процедура измерений. Основанием для исследования был тот факт, что повышение концентрации CO_2 в крови, к которому ведет задержка дыхания, оказывает седативное действие на центральную нервную систему, а начало сна коррелирует с урежением дыхания, снижением легочной вентиляции и повышением CO_2 . Но подобная методика усложняется подбором оптимального времени задержки, поскольку для каждого человека этот период индивидуален. При превышении его возникает стресс, препятствующий засыпанию, а при уменьшении – не накапливается нужная концентрация CO_2 в крови.

Методики управления дыханием восходят к весьма древним культурам [6]. Поэтому можно найти публикации, показывающие, например, эффективность дыхательных упражнений индийской йоги для улучшения сна [7–9]. В качестве доказательной базы в [7–8] использованы исключительно методы анкетирования, а в работе [9] приведен анализ полисомнограмм (ПСГ) ночного сна испытуемых.

К древним временам восходит и техника т.н. «абдоминального», или «диафрагмального», дыхания (ДД), которому в последнее время посвящена основная масса работ. Те немногие из них, что напрямую связаны с изучением сна, включают в себя как клинические [10–13], так и физиологические [14–17] исследования. Остальные работы касаются положительного влияния ДД на уровень стресса и параметры сердечно-сосудистой системы (ССС). Косвенно на состояние сна можно экстраполировать все упомянутые выше результаты в силу одних и тех же механизмов парасимпатической активации (в особенности активации блуждающего нерва), включаемых с помощью ДД, и известных под названием «ВСП-петля» (HRV-biofeedback) [18].

Эти механизмы начал исследовать еще в рамках советской космической программы наш соотечественник из Санкт-Петербурга Е.Г. Вацилло с целью изучения резонансных эффектов в ССС [18]. Его исследования легли в основу т.н. «резонансной модели» воздействия глубокого дыхания на ССС. В соответствии с ней наибольшая вариабельность сердечного ритма (ВСП) наблюдается на т.н. «резонансной частоте» (РЧ) дыхания. Алгоритмы определения РЧ могут быть разные (в данном исследовании, например, использованы три), соответственно, значения РЧ будут немного отличаться. Кроме того, РЧ отличается для разных людей и даже для одного и того же человека в разное время [19]. Но если брать усредненные статистические данные, то в среднем будет около 6 раз в минуту (0.1 Гц). То есть, если задать человеку какими-то внешними стимулами такой ритм ДД (отчего само дыхание иногда называют еще «ритмичным», англ. «paced breathing»), то парасимпатическая активация у него будет максимальной, со всеми вытекающими положительными последствиями для здоровья [15].

Что касается физиологических механизмов ВСП-петли, обеспечивающих вышеупомянутый резонанс, то их к настоящему времени установлено четыре: (1) фазовая синхронизация между изменениями сердечного ритма и ритмом дыхания (дыхательная синусовая аритмия, СА); (2) фазовая синхронизация между изменениями сердечного ритма и артериального давления; (3) эффект барорефлекса; (4) резонансные характеристики ССС. При дыхании на РЧ совокупность этих процессов улучшает обмен веществ в барорецепторе [20] и, следовательно, газообмен на уровне альвеол, а также

усиливает парасимпатическую активацию [18, 21]. Предполагается, что ДД повышает активность афферентной ветви блуждающего нерва [18, 21]. Активность блуждающего нерва невозможно измерить непосредственно, по крайней мере, неинвазивными методами, поэтому используют косвенный подход на основе связи этой активности и сердечного ритма, заключающийся в анализе параметров ВСР, как временных, так и частотных [22, 23].

Следует подчеркнуть, что в большинстве вышеперечисленных работ для анализа эффективности дыхательных упражнений использованы методы психологического анкетирования, реже – анализ ВСР и совсем редко [14, 16, 17] – анализ ПСГ. Хотя, казалось бы, именно ПСГ является «золотым стандартом» для исследований, связанных со сном. Поэтому целью данной работы стало предоставление доказательств положительного влияния ДД на дневной сон именно на основе статистического анализа ПСГ. В силу наличия данных об индивидуальной вариабельности РЧ [19] было решено использовать не общепринятый универсальный ритм ДД (0.1 Гц), а индивидуальную для каждого испытуемого РЧ дыхания.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как сказано выше, целью данной работы было подтвердить эффективность метода ДД как средства улучшения дневного сна (англ. «nap») здоровых испытуемых. Предпочтение дневному сну было отдано в том числе потому, что, по пилотным наблюдениям авторов, глубокое дыхание снижало в первую очередь латентность сна.

Оборудование

Запись ПСГ производили при помощи сертифицированного усилителя «Нейровизор БММ-36» в комплекте с электродным шлемом «MCScap Sleep» и программным обеспечением NeoRec 1.4 (ООО «Медицинские компьютерные системы», Москва). ПСГ состояла из 19 каналов ЭЭГ, подключенных по монополярной схеме 10–20 с двумя референтными электродами на мастоидных костях (в соответствии с рекомендациями [24]), двух каналов электроокулограммы (ЭОГ), одного канала электрокардиограммы (ЭКГ), одного канала электромиограммы (ЭМГ), двух каналов респирограммы (грудного и абдоминального). Также для ориентации по времени при последующем анализе записывали вспомогательный канал задающего звука (рис. 1). Частота дискретизации составляла 500 Гц. При сохранении записи в файл применяли высоко- и низкочастотный, а также режекторный фильтры (0.5, 35 и 50 Гц соответственно); одновременно сохраняли «сырой» сигнал на случай восстановления после сбояв.

Испытуемые

В исследовании приняли участие 50 добровольцев-студентов с отсутствием жалоб на сон. Из последующего анализа были исключены семеро из них по причинам: незавершенность исследования (4 человека), неудовлетворительное качество ПСГ (3 человека). Возраст оставшихся 43 испытуемых составил от 18 до 24 лет (среднее \pm стандартное отклонение: 20.5 ± 1.4 года). Они были разбиты случайным образом на 2 группы: экспериментальную (22 человека, 9 мужчин) и контрольную (21 человек, 12 мужчин). Перед началом эксперимента каждый испытуемый подписывал форму информированного согласия на участие в исследовании и заполнял анкету. Длительность ночного сна испытуемого, которую перед каждым опытом заносили в журнал на основе его устного свидетельства, составляла от 6 до 8 ч.

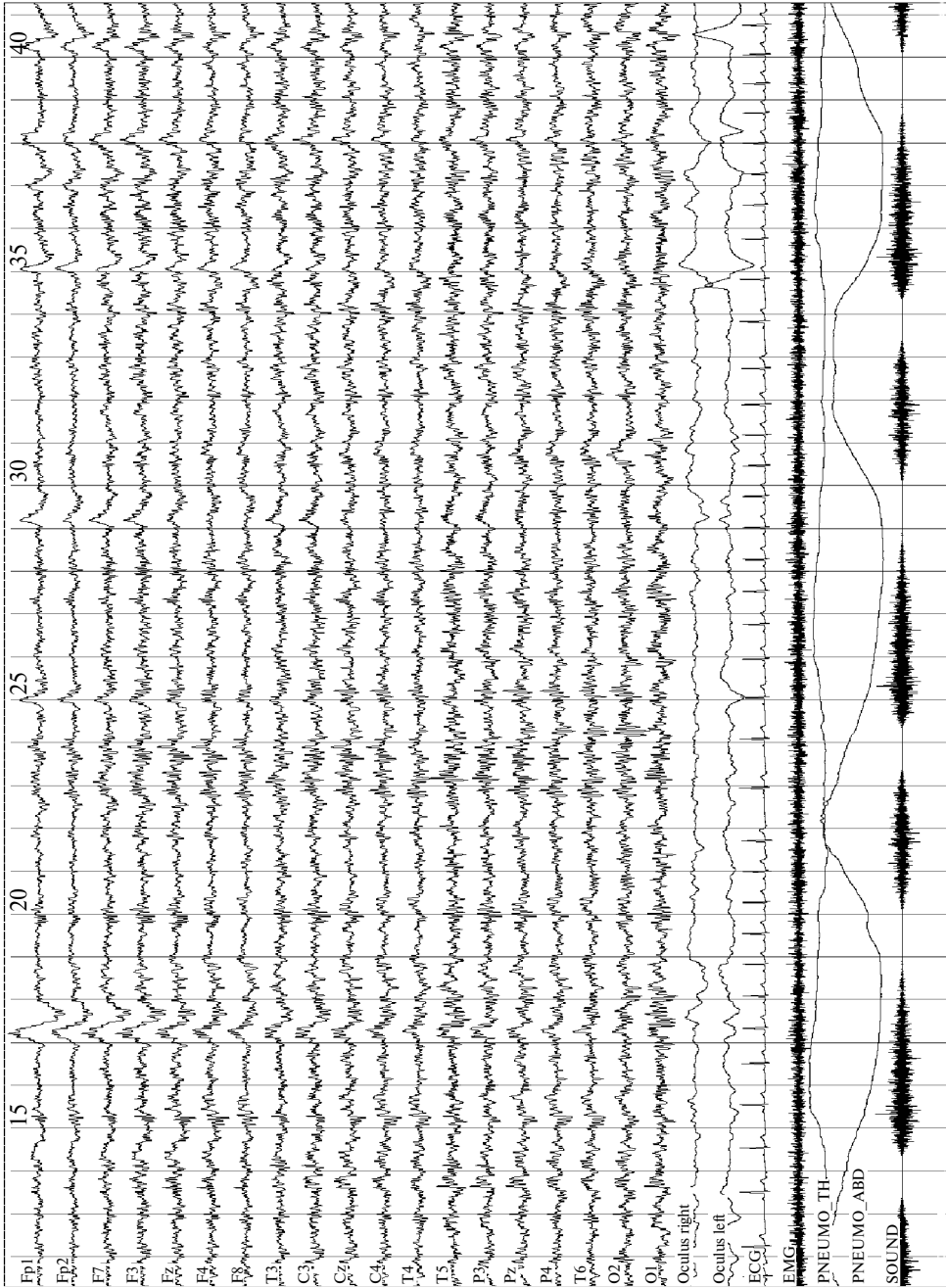


Рис. 1. Пример экрана ПСГ. Видны каналы регистрации, в том числе канал задающего звука (SOUND), с которым синхронизируется сигнал абдоминального дыхания (PNEUMO_ABD). При внимательном рассмотрении виден эффект дыхательной синусовой аритмии на канале ЭКГ (регулярное изменение R-R интервалов при вдохе и выдохе) и непроизвольные движения глаз на выдохе.

Процедура измерений

С каждым участником в разные дни было сделано по две записи ПСГ: предварительная и основная, длительностью примерно 45 мин каждая, время начала записи было с 12.30 до 17 ч. Испытуемый узнавал о своей принадлежности к экспериментальной или контрольной группе только в ходе 2-й, основной, записи. Предварительно он получал инструкции по технике выполнения ДД (ссылки на интернет-ресурсы), которые дублировались ассистентом в устной форме перед началом опыта. Предварительная запись имела следующие цели: (1) ознакомить испытуемого с обстановкой эксперимента; (2) определить характерную для него РЧ глубокого дыхания. Процедура предварительной записи была одинакова и для экспериментальной, и для контрольной групп. После наложения электродов испытуемый располагался на кушетке в вентилируемой камере сна при стабильной температуре воздуха. Затем включали запись ПСГ одновременно с воспроизведением задающего ритм ДД звука. Задающий звук представлял запись чередующихся звуков человеческого вдоха и выдоха в соотношении длительности 1 : 2. Т.е. если, например, звук вдоха длился 4 с, то звук выдоха – 8 с. Задаваемый таким образом ритм глубокого ДД каждые 2 мин ступенчато замедлялся на один цикл дыхания в минуту, начиная с 11, и до 4 дыханий в минуту (с 0.18 до 0.067 Гц). По данным респирограммы и ЭКГ, полученным на этом этапе, в дальнейшем вычисляли РЧ (алгоритм описан ниже). По окончании воспроизведения задающего звука в камере сна выключали свет и испытуемому давали возможность в течение 30 мин заснуть, после чего его будили. Так проходила предварительная запись.

Процедура основной записи отличалась для экспериментальной и контрольной групп. Участник контрольной группы после наложения электродов 15 мин лежал на кушетке с открытыми глазами при включенном освещении. С помощью наблюдения ПСГ в реальном времени контролировали, чтобы он не засыпал. По прошествии 15 мин выключали свет и давали испытуемому 30 мин на то, чтобы заснуть. Инструкция при этом заключалась в том, чтобы просто отдыхать лежа с закрытыми глазами и не препятствовать естественному наступлению сна. Участник экспериментальной группы первые 15 мин должен был при включенном освещении выполнять ДД с индивидуальной РЧ, определенной на основании предварительной записи и задаваемой с помощью звука. Далее процедура была идентична контрольной группе.

Обработка результатов измерений

Для обработки полученных ПСГ были написаны пользовательские программы на языке Python 3.9 с использованием библиотек mne [25, 26], neurokit2 [27], seaborn [28]. Статистические расчеты производили с помощью пакета R 4.3.2 [29].

Вначале на записях ПСГ удаляли сетевые помехи, после чего записи стадируют в соответствии с правилами AASM [24]. Далее, на этапе предобработки, из ЭЭГ удаляли артефакты ЭКГ и морганий, интерполировали «плохие» каналы, а также отмечали временные интервалы, непригодные для последующего спектрального анализа. Для определения РЧ дыхания на основе предварительной записи ПСГ в обеих группах использовали каналы ЭКГ и абдоминальной респирограммы. Для этого на каждом из 8 двухминутных интервалов со стабильным ритмом дыхания вычисляли 3 параметра (рис. 2): (1) общую мощность спектра ВСР (total power, TP); (2) среднеквадратичное отклонение RR-интервалов (SDNN); (3) значение на основе алгоритма «пик–впадина» [27, 30] («peak-to-through», RSA_P2T). Для каждого из них определяли частоту дыхания, при которой значение параметра максимально. Это и есть резонансная частота. Поскольку полученные 3 значения могли отличаться, в качестве задающего ритма в экспериментальной группе брали округленное до целого числа их среднее арифметическое.

Далее на основе подготовленных записей ЭЭГ вычисляли спектры ЭЭГ в диапазоне от 1 до 30 Гц методом Уэлша без перекрытий; размер сегмента составлял 500 точек (1 с).

На основе полученных спектров вычисляли временной ряд отношения мощностей в частотных диапазонах альфа (8–13 Гц) и тета (4–8 Гц) с шагом 1 с. При этом делали усреднение мощности по всем зарегистрированным каналам ЭЭГ, за исключением височных (Т3, Т4, Т5, Т6). Соотношение мощности альфа/тета – надежный маркер засыпания. Особенно эффективно оно описывает динамику перехода из бодрствования в стадию N1, в этом случае являясь, пожалуй, наилучшей оценочной ЭЭГ-метрикой [31]. Большой индивидуальный разброс этого параметра в данном случае компенсируется большим числом временных точек усреднения, что позволяет построить достаточно чувствительную к воздействию различных факторов регрессионную модель. Для дальнейших статистических расчетов использовали натуральный логарифм полученных значений:

$$\ln(P_{\text{alpha}}/P_{\text{theta}}), \quad (1)$$

где P_{alpha} – мощность спектра ЭЭГ в полосе 8–13 Гц; P_{theta} – мощность спектра ЭЭГ в полосе 4–8 Гц.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчеты резонансной частоты

РЧ была рассчитана для всех 43 испытуемых, вошедших как в экспериментальную группу, так и в контрольную. По результатам (рис. 2) можно сказать, что магическая цифра 6 дыханий в минуту отражает действительность. Но это при расчетах на основе TP и SDNN, которые хорошо согласуются. Расчет на основе RSA_P2T дал более низкое среднее значение РЧ – около 5 дыханий в минуту, и это отличие статистически значимо, что говорит о принципиальной методической разнице.

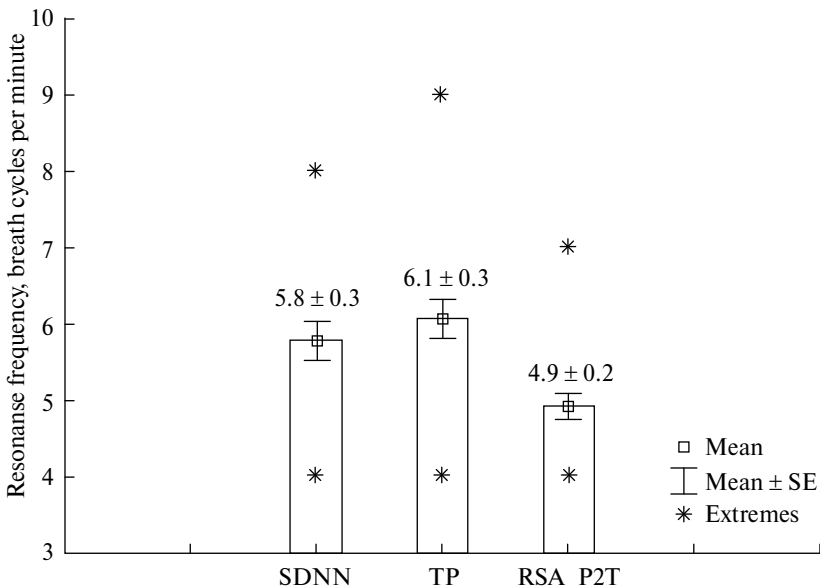


Рис. 2. Сравнение РЧ, определенной на основе трех разных алгоритмов. Видно, что средние по группе значения частоты, определенные на основе среднеквадратичного отклонения (SDNN) и интегральной мощности спектра ВСП (TP), примерно одинаковы, но РЧ, определенная на основе алгоритма «пик-впадина» (RSA_P2T), – достоверно ниже ($p < 0.05$).

Гипнограммы и латентность сна

Все записи ПСГ основной серии (т.е. 2-й по счету) были стадированы согласно критериям [24]. Результаты статистического сравнения временных параметров сна для экспериментальной и контрольной групп указаны в табл. 1. Анализ проведен в разделе Обсуждение результатов.

Таблица 1. Результаты статистического сравнения временных параметров сна в экспериментальной и контрольной группах

Параметр	Средние значения в экспериментальной группе \pm ст. ошибка	Средние значения в контрольной группе \pm ст. ошибка	t-test
Латентность (ЛС) 1-й стадии, с	166 \pm 34	270 \pm 57	0.11
Латентность (ЛС) 2-й стадии, с	500 \pm 77	720 \pm 124	0.13
Общее время сна, с	1539 \pm 57	1265 \pm 95	0.01*
Общее время 1-й стадии, с	442 \pm 67	426 \pm 66	0.86
Суммарное время 2-й и 3-й стадий, с	1067 \pm 89	815 \pm 127	0.10
Время бодрствования после засыпания (WASO), с	95 \pm 26	266 \pm 73	0.03*
Индекс активации (AI)**	1.48 \pm 0.16	2.23 \pm 0.29	0.03*
Индекс фрагментации (FI)***	0.7 \pm 0.4	0.20 \pm 0.7	0.11

Пояснения. Время анализа у всех испытуемых («bed time») – 1800 с. В графе «t-test» приведены результаты достоверности различий средних значений согласно t-критерию Стьюдента. * – значимые различия. ** – Индекс активации (Arousal Index) – число эпизодов снижения глубины сна за 1 ч. *** – Индекс фрагментации (Fragmentation Index) – процентное отношение числа периодов сна длительностью не более 1 мин к общей длительности сна в мин [32].

Результаты расчетов спектральных параметров ЭЭГ для основной записи

Временной ряд соотношения мощности альфа/тета для экспериментальной и контрольной групп показан на рис. 3. На нем видны 3 четко выраженных интервала: (1) этап засыпания длительностью примерно 5 мин; (2) этап стабильного состояния длительностью примерно 20 мин; (3) этап пробуждения длительностью 5 мин. Можно построить нелинейную регрессионную модель, описывающую одновременно этапы (1) и (2), например на основе экспоненциальной функции. Но оценка показывает, что качество такой модели ниже, чем у двух линейных моделей, построенных по отдельности для этапов (1) и (2) (рис. 3). Кроме того, последний вариант проще и нагляднее. Поэтому была выбрана линейная модель со случайным фактором «испытуемый», задаваемая формулой:

$$\ln(P_{\alpha} / P_{\theta}) \sim A + B \cdot \text{timepoint} + \text{rnd}(\text{Subject}), \quad (2)$$

где $\ln(P_{\alpha} / P_{\theta})$ – натуральный логарифм отношения мощности ЭЭГ в диапазонах альфа (8–13 Гц) и тета (4–8 Гц); timepoint – временной отсчет в секундах; $\text{rnd}(\text{Subject})$ – случайная величина, обусловленная индивидуальными особенностями испытуемых; A и B – коэффициенты линейной регрессии.

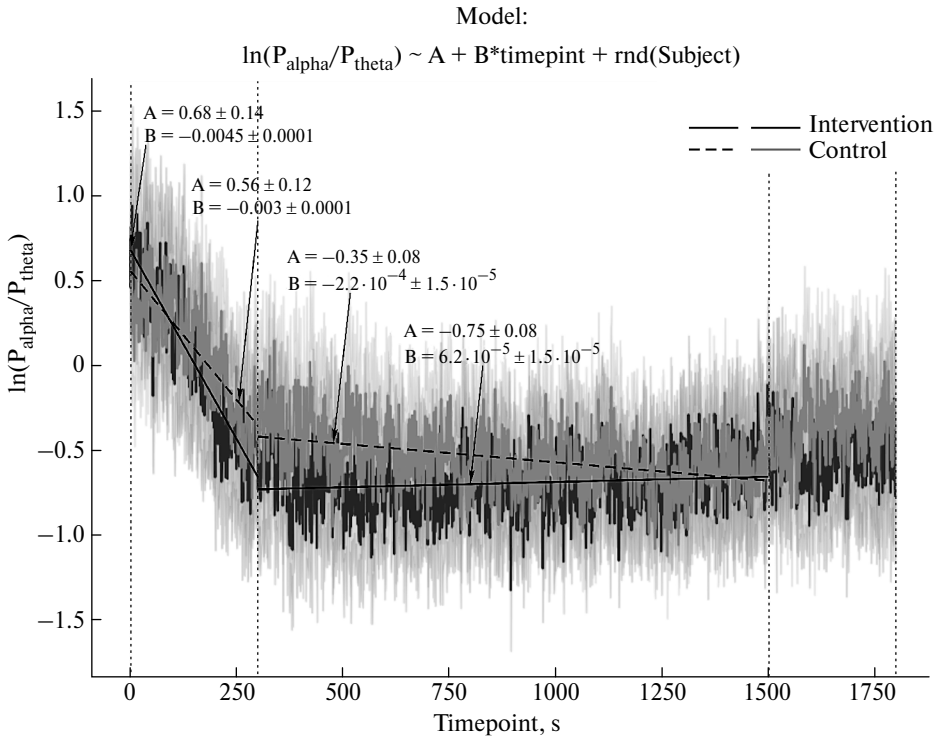


Рис. 3. Результаты регрессионного анализа временного ряда соотношения спектральных мощностей в полосах альфа (8–13 Гц) и тета (4–8 Гц) для экспериментальной и контрольной групп. Кривые – временной ряд с интервалом 1 с, усредненных по группам значений $\ln(P_{\alpha}/P_{\theta})$, где P_{α} – мощность спектра ЭЭГ в полосе 8–13 Гц; P_{θ} – мощность спектра ЭЭГ в полосе 4–8 Гц. Более светлым тоном показаны границы 95%-ных доверительных интервалов. Вертикальными точечными линиями время записи разбито на 3 участка: снижение (0–300 с, углубление сна), плато (300–1500 с) и восстановление (1500–1800 с). Сплошной линией обозначены результаты подгонки модели на первых двух участках для экспериментальной группы, а пунктиром – для контрольной. Приведены оценки регрессионных коэффициентов в виде «среднее \pm ст. ошибка». Результаты оценки проанализированы в разделе Обсуждение результатов.

Результаты подгонки этих моделей с помощью библиотеки nlme [33] пакета R показаны на рис. 3 и пояснены в подписи к нему. Оценка статистических параметров моделей (регрессионных коэффициентов A и B) для экспериментальной и контрольной групп была произведена на основе критерия Стьюдента. Она показала на этапе 0–300 с достоверные различия для коэффициента B ($p < 0.001$) и недостоверные – для коэффициента A. На этапе 300–1500 с оба коэффициента различались достоверно ($p < 0.001$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основе произведенных расчетов и из рис. 3 видно, что на участке 0–5 мин регрессионный коэффициент B линейной модели в экспериментальной группе достоверно ниже, чем в контрольной. При этом в обеих группах он отрицателен. Этот коэффициент связан с засыпанием испытуемых. Он отражает скорость наступления 1-й стадии сна, точнее, 2-й ее половины, когда на ЭЭГ преобладают тета-волны. Поэтому можно сделать вывод, что скорость засыпания (наклон регрессионной прямой, описываемый коэффициентом B) в экспериментальной группе была выше, чем в контрольной (рис. 3).

На участке 5–25 мин значения коэффициента В имеют малую величину в обеих группах, что говорит об относительно стабильном состоянии испытуемых. При этом коэффициент А можно рассматривать как «глубину» погружения в сон. Для экспериментальной группы его значение достоверно ниже, чем для контрольной, что можно расценить как более глубокое состояние сна.

Этот вывод подтверждается и анализом временных параметров сна. Так, в экспериментальной группе достоверно больше, по сравнению с контрольной, общее время сна ($p = 0.01$, табл. 1). Кроме того, в экспериментальной группе достоверно меньше время бодрствования после засыпания (WASO) и коррелирующий с ним индекс активации, ответственный за фрагментацию сна ($p = 0.03$, табл. 1). Т.е. после засыпания испытуемые в экспериментальной группе реже просыпались, чем в контрольной. Это согласуется с выводами работы [17], где после ДД с навязанной частотой тоже повышалась именно устойчивость сна (ночного), в то время как другие временные параметры (латентность и т.п.) отличались недостоверно.

Что касается ЛС (как 1-й, так и 2-й стадий), то различия этих параметров в нашем исследовании недостоверны ввиду их сильной дисперсии, хотя в экспериментальной группе средние значения ЛС ниже (табл. 1). Отсутствие достоверных различий ЛС наблюдали также в работе [16], по крайней мере, как и в нашем случае, среди испытуемых без жалоб на инсомнию. Однако в группе с жалобами на инсомнию в исследовании [16] наблюдалось сильное снижение ЛС под влиянием ДД. Скорее всего, такой драматический эффект вызван регулярными упражнениями в ДД, предшествовавшими эксперименту. Следует заметить, что в нашем исследовании, в отличие от [16], испытуемые не проходили сколь угодно длительной тренировки в глубоком ДД. Поэтому наши результаты отражают благоприятствующие сну именно быстрые физиологические изменения в организме человека, вызванные ДД. Они не связаны с эффектом привыкания в рамках ритуала отхода ко сну.

Таким образом, в нашем исследовании получено доказательство, что под влиянием ДД улучшаются параметры короткого дневного сна, причем у здоровых испытуемых. Этот вывод может быть полезен при разработке неинвазивных подходов к лечению инсомнии.

ВКЛАДЫ АВТОРОВ

Идея работы и планирование исследования – Д. С., Д. Ш.; сбор данных, организация исследования – А. Х.; З. Б., обработка данных – Д. Ш.; Е. Я., написание и редактирование манускрипта – А. Х., Д. Ш.; В. В. Д. Окончательная редакция и оформление финальной версии манускрипта – В. Б. Д., Д. С., В. И. Т.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Настоящая работа финансировалась за счет средств бюджета Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все исследования проводились в соответствии с принципами биомедицинской этики, изложенными в Хельсинкской декларации 1964 г. и последующих поправках к ней. Они также были одобрены Комиссией по этике Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, протокол № 1 от 22.02.2024 г.

Каждый участник исследования дал добровольное письменное информированное согласие после получения разъяснений о потенциальных рисках и преимуществах, а также о характере предстоящего исследования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы настоящей работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Edinger JD, Arnedt JT, Bertisch SM, Carney CE, Harrington JJ, Lichstein KL, Sateia MJ, Troxel WM, Zhou ES, Kazmi U, Heald JL, Martin JL* (2021) Behavioral and psychological treatments for chronic insomnia disorder in adults: An American Academy of Sleep Medicine clinical practice guideline. *J Clin Sleep Med* 17: 255–262.
<https://doi.org/10.5664/jcsm.8986>
2. *Дорохов ВБ, Пучкова АН* (2022) Нейротехнологии нефармакологической терапии нарушений сна. Журн высш нервн деятельн им ИП Павлова 72: 55–76. [*Dorohov VB, Puchkova AN* (2022) Neurotechnologies Of Non-Pharmacological Sleep Disorders Therapy. *Zhurn Vysh Nervn Dejatel im IP Pavlova* 72: 55–76. (In Russ)].
<https://doi.org/10.31857/S0044467722010038>
3. *Shumov DE, Sveshnikov DS, Bakaeva ZV, Yakunina EB, Dorokhov VB* (2024) The effectiveness of suggestive techniques to improve sleep is enhanced by combining with sound stimulus based on binaural beats. *Korsakov J Neurol Psychiatry* 124: 20.
<https://doi.org/10.17116/jnevro202412405220>
4. *Kubin L* (2019) Interactions Between Sleep and Breathing. In: *Handbook of Behavioral Neuroscience*. Elsevier. 205–221.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813743-7.00014-1>
5. *Chôliz M* (1995) A Breathing-Retraining Procedure In Treatment Of Sleep-Onset Insomnia: Theoretical Basis And Experimental Findings. *Percept Mot Skills* 80: 507–513.
<https://doi.org/10.2466/pms.1995.80.2.507>
6. *Сазонова ММ, Шумов ДЕ, Суворов РВ, Дорохов ВБ* (2022) Глубокое медленное дыхание и сон. Эффектив фармакотерап 18: 12–18. [*Sazonova MM, Shumov DE, Suvorov RV, Dorohov VB* (2022) Deep Slow Breathing and Sleep. *Jeffectiv Farmakoterap* 18: 12–18. (In Russ)].
<https://doi.org/10.33978/2307-3586-2022-18-36-12-18>
7. *Kumar V, Malhotra V, Kumar S* (2019) Application of Standardised Yoga Protocols as the Basis of Physiotherapy Recommendation in Treatment of Sleep Apneas: Moving Beyond Pranayamas. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg* 71: 558–565.
<https://doi.org/10.1007/s12070-018-1405-5>
8. *Kumar A, Venkatesh S* (2021) Effect of Short-Term Practice of Bhramari Pranayama on Sleep Quality and Perceived Stress in School Students. *Int J Physiol*.
<https://doi.org/10.37506/ijop.v9i1.2603>
9. *Sulekha S, Thennarasu K, Vedamurthachar A, Raju TR, Kutty BM* (2006) Evaluation of sleep architecture in practitioners of Sudarshan Kriya yoga and Vipassana meditation. *Sleep Biol Rhythms* 4: 207–214.
<https://doi.org/10.1111/j.1479-8425.2006.00233.x>
10. *Gonzalez-Bermejo J, Morélot-Panzini C, Salachas F, Redolfi S, Straus C, Becquemin M-H, Arnulf I, Pradat P-F, Bruneteau G, Ignagni AR, Diop M, Onders R, Nelson T, Menegaux F, Meininger V, Similowski T* (2012) Diaphragm pacing improves sleep in patients with amyotrophic lateral sclerosis. *Amyotroph Lateral Scler* 13: 44–54.
<https://doi.org/10.3109/17482968.2011.597862>
11. *Masroor S, Tanwar T, Aldabbas M, Iram I, Veqar Z* (2023) Effect of Adding Diaphragmatic Breathing Exercises to Core Stabilization Exercises on Pain, Muscle Activity, Disability, and Sleep Quality in Patients With Chronic Low Back Pain: A Randomized Control Trial. *J Chiropr Med* 22: 275–283.
<https://doi.org/10.1016/j.jcm.2023.07.001>
12. *Liu Y, Jiang T, Shi T, Liu Y, Liu X, Xu G, Li F, Wang Y, Wu X* (2021) 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* 78: 8–14.
<https://doi.org/10.1016/j.sleep.2020.12.003>
13. *Ghorbani A, Hajizadeh F, Sheykhi MR, Mohammad Poor Asl A* (2019) The Effects of Deep-Breathing Exercises on Postoperative Sleep Duration and Quality in Patients Undergoing Coronary Artery Bypass Graft (CABG): A Randomized Clinical Trial. *J Caring Sci* 8: 219–224.
<https://doi.org/10.15171/jcs.2019.031>
14. *Kuula L, Halonen R, Kajanto K, Lipsanen J, Makkonen T, Peltonen M, Pesonen A-K* (2020) The Effects of Presleep Slow Breathing and Music Listening on Polysomnographic Sleep Measures – a pilot trial. *Sci Rep* 10: 7427.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-64218-7>
15. *Laborde S, Hosang T, Mosley E, Dosseville F* (2019) 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* 8: 193.
<https://doi.org/10.3390/jcm8020193>

16. *Tsai HJ, Kuo TBJ, Lee G-S, Yang CCH* (2015) Efficacy of paced breathing for insomnia: Enhances vagal activity and improves sleep quality. *Psychophysiology* 52: 388–396.
<https://doi.org/10.1111/psyp.12333>
17. *De Zambotti M, Sizintsev M, Claudatos S, Barresi G, Colrain IM, Baker FC* (2019) Reducing bedtime physiological arousal levels using immersive audio-visual respiratory bio-feedback: A pilot study in women with insomnia symptoms. *J Behav Med* 42: 973–983.
<https://doi.org/10.1007/s10865-019-00020-9>
18. *Lehrer P* (2013) How Does Heart Rate Variability Biofeedback Work? Resonance, the Baroreflex, and Other Mechanisms. *Biofeedback* 41: 26–31.
<https://doi.org/10.5298/1081-5937-41.1.02>
19. *Capdevila L, Parrado E, Ramos-Castro J, Zapata-Lamana R, Lalanza JF* (2021) Resonance frequency is not always stable over time and could be related to the inter-beat interval. *Sci Rep* 11: 8400.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-87867-8>
20. *Lehrer P, Vaschillo E, Lu S-E, Eckberg D, Vaschillo B, Scardella A, Habib R* (2006) Heart Rate Variability Biofeedback. *Chest* 129: 278–284.
<https://doi.org/10.1378/chest.129.2.278>
21. *Lehrer PM, Gevirtz R* (2014) Heart rate variability biofeedback: How and why does it work? *Front Psychol* 5: 756.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00756>
22. *Laborde S, Mosley E, Thayer JF* (2017) Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research – Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting. *Front Psychol* 8: 213.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>
23. *Shaffer F, Ginsberg JP* (2017) An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Front Public Health* 5: 258.
<https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
24. *Berry RB, Brooks R, Gamaldo C, Harding SM, Lloyd RM, Quan SF, Troester MT, Vaughn BV* (2017) AASM Scoring Manual Updates for 2017 (Version 2.4). *J Clin Sleep Med* 13: 665–666.
<https://doi.org/10.5664/jcsm.6576>
25. *MNE Team* (2024) MNE-Python 1.7.1.
<https://github.com/mne-tools/mne-python/tree/v1.7.1>
26. *Gramfort A* (2013) MEG and EEG data analysis with MNE-Python. *Front Neurosci* 7: 267.
<https://doi.org/10.3389/fnins.2013.00267>
27. *Makowski D, Pham T, Lau ZJ, Brammer JC, Lespinasse F, Pham H, Schölzel C, Chen SHA* (2021) NeuroKit2: A Python toolbox for neurophysiological signal processing. *Behav Res Methods* 53: 1689–1696.
<https://doi.org/10.3758/s13428-020-01516-y>
28. *Waskom M* (2021) seaborn: Statistical data visualization. *J Open Source Softw* 6: 3021.
<https://doi.org/10.21105/joss.03021>
29. *R Core Team* (2021) R: A language and environment for statistical computing.
<https://www.R-project.org/>. Accessed 1 Oct. 2024
30. *Lewis GF, Furman SA, McCool MF, Porges SW* (2012) Statistical strategies to quantify respiratory sinus arrhythmia: Are commonly used metrics equivalent? *Biol Psychol* 89: 349–364.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2011.11.009>
31. *Krakovská A, Mezeiová K* (2011) Automatic sleep scoring: A search for an optimal combination of measures. *Artif Intell Med* 53(1): 25–33.
<https://doi.org/10.1016/j.artmed.2011.06.004>
32. *Loewen A, Siemens A, Hanly P* (2009) Sleep Disruption in Patients with Sleep Apnea and End-Stage Renal Disease. *J Clin Sleep Med* 05(04): 324–329.
<https://doi.org/10.5664/jcsm.27542>
33. *Pinheiro J, Bates D, DebRoy S, Sarkar D, R Core Team* (2021) nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models.
<https://cran.r-project.org/web/packages/nlme/>. Accessed 1 Oct. 2024

**A 15-Minute Abdominal Breathing Exercise Promotes Nap in Undergraduates:
Instrumental Study Findings**

**A. E. Khuurak^b, D. E. Shumov^{a, b, *}, D. S. Sveshnikov^b, Z. V. Bakaeva^b, E. B. Yakunina^b,
V. I. Torshin^b, V. V. Dementienko^c, and V. B. Dorokhov^a**

*^aInstitute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

^bMedical Institute of RUDN University, Moscow, Russia

^cNeurocom JSC, Moscow, Russia

**E-mail: shumov_de@pfur.ru*

The study purpose – To validate by polysomnography (PSG) tools the efficacy of deep abdominal breathing (AB) as a technique improving daytime nap in healthy subjects. Materials and methods: 43 healthy subjects participated in the study, of whom 22 were included into intervention group and 21 into control group. In the intervention group, nap PSGs were recorded for 30 min after performing AB for 15 minutes. In the control group, a similar PSGs were recorded after 15 min of wakefulness. To assess the nap quality, standard sleep characteristics (latency, etc.) were determined from the subjects' hypnograms. In the intervention group total sleep time was significantly longer and activation index was significantly lower than in control group, while sleep latency did not differ significantly. In addition, the electroencephalogram (EEG) spectrum power ratio in alpha (8–13 Hz) and theta (4–8 Hz) frequency bands was analyzed. Linear regression model of alpha/theta power ratio time series was constructed within the framework of statistical analysis. It was concluded based on comparison of coefficients of this model along with the time domain sleep characteristics, that AB exercise preceding daytime nap activates physiological mechanisms accelerating fall-asleep process and making sleep more stable. This finding may be useful in the development of non-invasive approaches to insomnia treatment.

Keywords: nap, breathing, insomnia