

Сравнительная оценка эффективности сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью и медитативных дыхательных упражнений при моделировании аллостатической нагрузки

Д.В. Файнштейн, А.С. Фокина, Г.А. Севрюкова ✉, А.Н. Долецкий, С.В. Клаучек

Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия

Аннотация. Проведен сравнительный анализ эффективности метода сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью и медитативных дыхательных упражнений при моделировании аллостатической нагрузки. Исследование биоэлектрической активности головного мозга проводилось по данным электроэнцефалографии. Состояние вегетативной реактивности обследуемых оценивалось при помощи спектрального анализа вариабельности ритма сердца. Показано, что курсовое использование процедур сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью оказывает позитивное влияние на уровень биоэлектрической активности коры головного мозга, реактивность вегетативной нервной системы и способствует оптимизации респираторной функции на фоне моделирования паттерна дыхания канюленосителя как источника аллостатической нагрузки.

Ключевые слова: сенсомоторное управление дыханием, биологическая обратная связь, медитативные дыхательные упражнения, канюленосители, аллостатическая нагрузка

ORIGINAL RESEARCHES

Original article

doi: <https://doi.org/10.19163/1994-9480-2024-21-2-68-72>

The analysis of the effectiveness of sensorimotor control of breathing with biofeedback and meditative breathing exercises in modeling allostatic load

D.V. Faynshteyn, A.S. Fokina, G.A. Sevriukova ✉, A.N. Doletsky, S.V. Klauchek

Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

Abstract. The effectiveness of the method of sensorimotor breathing control with biofeedback and meditative breathing exercises in modeling allostatic load was analyzed. The bioelectrical activity of the brain was studied using electroencephalography. The reactions of the autonomic nervous system were assessed using spectral analysis of heart rate variability. A course of using sensorimotor breathing control procedures with biofeedback has a positive effect on the level of bioelectrical activity of the brain and the reactivity of the autonomic nervous system. These techniques optimize respiratory function by simulating the breathing pattern in chronic tracheostomy patients, as allostatic load.

Keywords: sensorimotor control of breathing, biofeedback, meditative breathing exercises, chronic tracheostomy patients, allostatic load

В последние годы особое внимание уделяется коррекции функционального состояния человека в условиях аллостатической нагрузки. Концепция аллостаза, предложенная в работе Sterling P., Eyer J. (1988) рассматривает его как механизм, побуждающий организм отрабатывать индивидуальные стратегии адаптации, направленные на поддержания здоровья путем «достижения стабильности через изменения» [1, 2]. С этих позиций нами рассмотрена проблема долгосрочной адаптации функции внешнего дыхания хронических канюленосителей – людей, живущих с трахеостомой после проведения тотальной ларингоэктоми. В случае успешного радикального лечения по поводу злокачественных новообразований, при многолетнем отсутствии рецидивов и метаста-

зов, эти лица считаются практически здоровыми [3]. В этом случае аллостатическая нагрузка определяется тем, что у таких пациентов частично исключаются из процесса дыхания воздухоносные пути: полость носа, носоглотка и гортань до начального отдела трахеи, и дыхание осуществляется через трахеостому. Несмотря на это, они ведут активный образ жизни, продуктивно трудятся и осуществляют полноценную рекреационную деятельность [4]. В связи с этим представляются актуальными вопросы оптимизации процессов адаптации кардиореспираторной и центральной нервной систем в условиях аллостатической нагрузки у хронических канюленосителей с использованием физиологически обоснованных функциональных методов регуляции дыхания.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Установление оптимизирующей эффективности метода сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью при моделировании условий дыхания хронических канюленосителей.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании приняли участие 35 обследуемых (19 женщин и 16 мужчин) в возрасте 24–45 лет. При моделировании условий дыхания через трахеостому учитывались специфические анатомо-физиологические особенности выполнения данной функции хроническими канюленосителями: с помощью специального зажима для носа исключалось носовое дыхание; ротовое дыхание осуществлялось через загубник с фиксированным сечением (диаметр трахеостомической трубки – 9 мм). Это позволяло имитировать дыхание через трахеостомическую трубку с раздуваемой манжетой, традиционно используемой для полного исключения прохождения воздуха вне канюли. Выполнение условий, регламентирующих дыхание, являлось обязательным для всех участников исследования.

Исследование биоэлектрической активности головного мозга проводилось по данным электроэнцефалографии [5] («Нейрон-Спектр», г. Иваново, Россия). Регистрировали ЭЭГ по международной схеме 10–20 % от 8 отведений: лобная область F3-F4; прецентральная область C3-C4; теменная область P3-P4; затылочная область O1-O2. В качестве референтного использовался объединенный ушной электрод. Все обследуемые перед регистрацией ЭЭГ проходили адаптацию к условиям лаборатории в течение 10 минут и предварительный инструктаж.

ЭЭГ анализировали по следующим стандартным частотным диапазонам: дельта (0,5–3 Гц), тета (4–7 Гц), альфа (8–13 Гц), бета-низкой (b1 – 14–20 Гц), бета-высокой (b2 – 21–40 Гц). Производилась регистрация фоновой ЭЭГ в состоянии физиологического покоя при закрытых глазах, а также до и после однократного и курсового применения процедур с биологической обратной связью (БОС) и медитативных дыхательных упражнений (МДУ) для сравнительной оценки их эффективности.

Состояние вегетативной реактивности обследуемых оценивалось при помощи спектрального анализа вариабельности ритма сердца [6]. Регистрация кардиоинтервалограммы (КИГ) и последующий ее анализ осуществляли с помощью программно-аппаратного комплекса «ВНС-Спектр» (г. Иваново, Россия). Определялись следующие показатели математического анализа сердечного ритма: ЧСС – средняя частота сердечных сокращений; LFn.u. – мощность спектра кардиоритма в области низких частот, выраженная в нормализованных единицах; HFn.u. – мощность спектра кардиоритма в области высоких частот, вы-

раженная в нормализованных единицах; LF/HF – отношение мощностей спектра кардиоритма в области низких и высоких частот, характеризующее баланс симпатических и парасимпатических влияний.

Оценка вегетативной реактивности производилась на основе динамики параметров кардиоритма до и после выполнения пробы «Зеркальная координометрия» [7]. Она позволяет моделировать деятельность, требующую обеспечения тонкой зрительно-двигательной координации в условиях зеркальной инверсии выработанного стереотипа.

Методика «Сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью» (СУД с БОС) использовалась для оптимизации функционального состояния коры головного мозга, вегетативной реактивности и функции внешнего дыхания. Основной теоретической предпосылкой явилось сопряжение управления полупроизвольной дыхательной функцией на принципе БОС и произвольной двигательной функцией (СУД) – синхронные следящие движения ведущей рукой [8, 9].

В наших исследованиях методика реализовалась с использованием стандартного оборудования: 1 – монитор компьютера или любого мобильного устройства; 2 – стандартный датчик дыхания (зафиксирован на эластичном поясе вокруг грудной клетки). Методика реализуется на базе принципиально нового программного обеспечения для сопряжения СУД и БОС, а также для синхронного графического отображения сигналов датчика дыхания и джойстика (компьютерной мыши). Обследуемый, согласно инструкции, должен был с помощью джойстика отслеживать на мониторе кривую собственного дыхания, повторяя как можно точнее ее траекторию. На начальном этапе с каждым обследуемым проводилась ознакомительная работа с устройством, обучение фиксации датчика на своем теле и работа с программным обеспечением. Добивались, чтобы каждый обследуемый мог проводить процедуру СУД с БОС самостоятельно.

Методика «Медитативных дыхательных упражнений» (МДУ), применяемая в исследовании одна из разновидностей дыхательных практик, используемых в йоге – «полное дыхание» [10]. Упражнение выполняется сидя и начинается с полного выдоха, после чего осуществляется расслабление брюшной стенки и выпячивание живота (адресовано к нижним отделам легких). На высоте вдоха уже осуществляется сокращение мышц живота, в результате чего заполняются все отделы легких, включая верхние, далее делается медленный выдох. «Полное дыхание» осуществляется спокойно, медленно, ритмично.

В наших исследованиях следовали схеме, предложенной В.С. Ильиным (2008): вначале выполняется комплекс «вдох-вдох-выдох» при временном соотношении 1 : 1 : 5; затем «вдох-выдох-выдох» в пропорции

5 : 1 : 1. Длительность выполнения комплекса дыхательных упражнений колебалась от 5 до 10 минут [11]. Эта методика явилась адекватной альтернативой, использованной в качестве группы сравнения с СУД с БОС.

Статистический анализ данных проводили с помощью программного пакета Statistica 7.0. Нормальность распределения оценивали с применением критерия Колмогорова – Смирнова с последующим использованием параметрического или непараметрического методов. Различия считались значимыми при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным нашего исследования, в динамике параметров ЭЭГ после однократного сеанса СУД с БОС наблюдались позитивные тенденции; при этом не было выявлено негативных изменений ни по одной из рассматриваемых характеристик, отражающих функциональное состояние коры головного мозга. В конце выполнения процедуры СУД с БОС отмечалась тенденция к увеличению амплитуды альфа-ритма на 10,9 % и снижение индекса бета1-ритма в среднем на 11,4 %. Особенно обращает на себя внимание динамика параметров медленноволновой активности. В частности, было показано значимое уменьшение тета-активности по амплитуде на 28,0 % ($p \leq 0,05$) и недостоверное по индексу – на 15,9 %. Дельта-ритм также имел тенденцию к снижению по амплитуде в среднем на 12,0 %.

Таким образом, в группе БОС однократная процедура сенсомоторного управления дыханием (СУД) не только не вызывала нежелательных изменений фоновой ЭЭГ, но и способствовала улучшению ряда характеристик активности коры головного мозга. При этом наблюдаемые позитивные тенденции в состоянии биоэлектрической активности головного мозга заключались в уменьшении параметров бета- и медленноволновой активности и увеличении альфа-ритма. Подобное повышение выраженности альфа-ритма, как правило, сопровождается снижением общего уровня активации ЦНС и является маркером перехода к спокойному бодрствованию [12]. Такая картина биоэлектрической активности головного мозга может рассматриваться как оптимальный фон для релаксации.

Сравнительный анализ реакций вегетативной нервной системы обследуемых при однократном применении СУД с БОС на фоне стандартной нагрузочной пробы «Зеркальная координометрия» (ЗК) позволил установить, что непосредственно после окончания ЗК отмечалось значимое увеличение на 62,5 % ($p \leq 0,05$) показателя отношения низкочастотной составляющей спектра к высокочастотной (LF/HF) за счет повышения спектральной мощности низкочастотного диапазона с $4,7 \pm 0,85$ до $8,1 \pm 1,4$ (LFn.u.) при неизменности

высокочастотной составляющей спектра (HFn.u.). Это указывает на очевидную стресспротективную эффективность однократной процедуры и позволило нам предположить возможность получения большего позитивного эффекта при курсовом применении СУД с БОС.

На следующем этапе сравнивались эффекты курсового использования 10 сеансов СУД с БОС и аналогичного по длительности курса медитативных дыхательных упражнений (МДУ). По окончании курса процедур производилась регистрация ЭЭГ с оценкой динамики биоэлектрической активности головного мозга. Установлено, что в группе СУД с БОС при сравнении параметров с фоновой ЭЭГ выявлено увеличение амплитуды и индекса альфа-ритма на 15,6 и 22,5 % ($p \leq 0,05$) соответственно. Незначительно возросла амплитуда бета1-ритма, при этом индекс бета1-ритма достоверно стал меньше на 19,2 % ($p \leq 0,05$). Также отмечались изменения параметров медленноволновой активности: тета-ритм в среднем по группе уменьшился по амплитуде и индексу ритма на 21,3 и 19,2 % соответственно ($p \leq 0,05$). Дельта-ритм по тем же параметрам стал меньше на 18,9 и 22,2 %.

В группе МДУ биоэлектрическая активность головного мозга по окончании курса при сравнении с фоновой ЭЭГ, так же, как и после курсового использования процедуры СУД с БОС, характеризовалась достоверным увеличением индекса альфа-ритма на 23,1 % ($p \leq 0,05$); тенденцией к снижению индекса бета1-ритма на 11,9 %. При этом незначительно изменялись параметры бета2-ритма и на уровне тенденции увеличивались индексы тета- и дельта-ритма.

Таким образом, изменения параметров ЭЭГ, обусловленные курсовым использованием процедур сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью и в группе, прошедшей сеанс медитативных дыхательных упражнений, демонстрируют тенденцию к оптимизации соотношения активности корково-подкорковых структур, которое в наибольшей степени обеспечивает уровень должной активации или инактивации коры и ее избирательное вовлечение в деятельность.

На этапе оценки изменений со стороны вегетативной нервной системы на стрессогенную нагрузку (ЗК) после курсового применения СУД с БОС и МДУ зафиксированы изменения, косвенно свидетельствующие о повышении тонуса парасимпатического отдела ВНС и снижении активности вазомоторного центра, реализующего свои эффекты через симпатический отдел ВНС. Так, в группе СУД с БОС отмечалась тенденция к увеличению спектральных мощностей LF-диапазона в среднем на 36,7 % и HF-диапазона на 14,0 %, а также установлено снижение показателя симпато-вагусного отношения на 66,5 % ($p \leq 0,05$), тогда как на фоне проведенного курса МДУ реакция на стрессогенное воздействие существенно не изменялась (значение LF-диапазона достоверно увеличивалось в среднем

на 3,6 п.у. ($p \leq 0,05$); показатель симпато-вагусного отношения характеризовался незначительным снижением на 14,3 %).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Курсовое использование процедуры сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью (СУД с БОС) оказывает преимущественное позитивное влияние на уровень биоэлектрической активности коры головного мозга, реактивность вегетативной нервной системы и способствует оптимизации респираторной функции на фоне моделирования паттерна дыхания канюленосителя как примера аллостатической нагрузки.

Отработка технологии процедуры сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью (СУД с БОС), определение возможных ограничений ее использования и установление критериев овладения процедурой в процессе тренировки позволяет рекомендовать ее для эмоционально-поведенческой коррекции дыхания хронических канюленосителей.

Преимуществом адаптивного биоуправления (СУД с БОС) были не только выраженные сдвиги позитивной направленности, свидетельствующие об оптимизирующем действии курсового использования сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью на функциональное состояние ЦНС и вегетативную реактивность, но и более высокая мотивация у обследуемых к практическому использованию данной технологии по сравнению с выполнением медитативных дыхательных упражнений (МУД).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Севрюкова Г. А. Реостаз, аллостаз и аллостатическая нагрузка: что понимается под этими терминами? *Международный научно-исследовательский журнал*. 2022;10(124). doi: 10.23670/IRJ.2022.124.22.
2. McEwen B.S. Central role of the brain in stress and adaptation. *Stress: Concepts, Cognition, Emotion and Behavior*. 2016;39–55. doi: 10.1016/b978-0-12-800951-2.00005-4.
3. Heutte N., Plisson L., Lange M. et al. Quality of life tools in head and neck oncology. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis*. 2014;131(1):33–47. doi: 10.1016/j.anorl.2013.05.002.
4. Singer S., Danker H., Guntinas-Lichius O. et al. Quality of life before and after total laryngectomy: results of a multicenter prospective cohort study. *Head Neck*. 2014;36(3):359–368. doi: 10.1002/hed.23305.
5. Александров М.В., Иванов Л.Б., Лытаев С.А. и др. Электроэнцефалография: руководство. СПб.: СпецЛит, 2020. 224 с.
6. Баевский Р. М. Берсенева А. П. Введение в донозологическую диагностику. М.: Слово, 2008. 176 с.
7. Клаучек С.В., Кудрин Р.А., Долецкий А.Н. и др. Физиологические механизмы и терапевтические мишени

модифицированных состояний сознания. Волгоград: Изд-во ВолгГМУ, 2023. 372 с.

8. Клаучек С.В. Методы повышения психической работоспособности летного состава. М.: ЦНИИАГ МО СССР, 1980. 146 с.

9. Барулин А. Е. Психофизиологическое обоснование применения метода сенсомоторного управления дыханием для коррекции дыхательной дисфункции при синдроме вегетативной дистонии: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Волгоград, 2004. 24 с.

10. Jerath R., Edry J. W., Barnes V. A., Jerath V. Physiology of long pranayamic breathing: Neural respiratory elements may provide a mechanism that explains how slow deep breathing shifts the autonomic nervous system. *Medical Hypotheses*. 2006;67(3):566–571. doi: 10.1016/j.mehy.2006.02.042.

11. Ильин В.С. Лечебная физкультура в комплексном послеоперационном лечении рубцовых стенозов трахеи и гортани: дис. ... канд. биол. наук. М., 2008. 163 с.

12. Iznak A.F., Iznak E.V. EEG Predictors of Therapeutic Responses in Psychiatry. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2022;52(2):207–212. doi: 10.1007/s11055-022-01225-3.

REFERENCES

1. Sevryukova G. A. Rheostasis, allostasis, and allostatic load: what is meant by these terms? *Meždunarodnyj naučno-issledovatel'skij žurnal = International Research Journal*. 2022;10(124). (In Russ.) doi: 10.23670/IRJ.2022.124.22.
2. McEwen B.S. Central role of the brain in stress and adaptation. *Stress: Concepts, Cognition, Emotion and Behavior*. 2016;39–55. doi: 10.1016/b978-0-12-800951-2.00005-4.
3. Heutte N., Plisson L., Lange M. et al. Quality of life tools in head and neck oncology. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis*. 2014;131(1):33–47. doi: 10.1016/j.anorl.2013.05.002.
4. Singer S., Danker H., Guntinas-Lichius O. et al. Quality of life before and after total laryngectomy: results of a multicenter prospective cohort study. *Head Neck*. 2014;36(3):359–368. doi: 10.1002/hed.23305.
5. Alexandrov M.V., Ivanov L.B., Lytaev S.A. et al. Electroencephalography: a guide. St. Petersburg, SpetsLit, 2020. 224 p. (In Russ.).
6. Baevsky R.M. Berseneva A.P. Introduction to pre-zoological diagnostics. Moscow, Slovo, 2008. 176 p. (In Russ.).
7. Klauchek S.V., Kudrin R.A., Doletsky A.N. et al. Physiological mechanisms and therapeutic targets of modified states of consciousness. Volgograd, Publishing House of Volgograd State Medical University, 2023. 372 p. (In Russ.).
8. Klauček S.V. Methods of increasing the mental capacity of flight personnel. Moscow, TsNIIAG MO USSR, 1980. 146 p. (In Russ.).
9. Barulin A.E. Psychophysiological rationale for the use of sensorimotor respiratory control for the correction of respiratory dysfunction in autonomic dystonia syndrome. Dissertation abstract of the Candidate of Medical Sciences. Volgograd, 2004. 24 p. (In Russ.).
10. Jerath R., Edry J.W., Barnes V.A., Jerath V. Physiology of long pranayamic breathing: Neural respiratory elements may

provide a mechanism that explains how slow deep breathing shifts the autonomic nervous system. *Medical Hypotheses*. 2006;67(3):566–571. doi: 10.1016/j.mehy.2006.02.042.

11. Ilyin V. S. Physical therapy in the complex postoperative treatment of cicatricial stenoses of the trachea and larynx.

Dissertation abstract of the Candidate of Biology. Moscow, 2008. 163 p. (In Russ.)

12. Iznak A.F., Iznak E.V. EEG Predictors of Therapeutic Responses in Psychiatry. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2022;52(2):207–212. doi: 10.1007/s11055-022-01225-3.

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

Информация об авторах

Дмитрий Владимирович Файнштейн – аспирант кафедры нормальной физиологии, Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия; faynshteyndv@mail.ru

Анна Сергеевна Фокина – кандидат медицинских наук, доцент кафедры нормальной физиологии, Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия; fasak@mail.ru

Галина Александровна Севрюкова – доктор биологических наук, профессор кафедры нормальной физиологии, Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия; [✉] sevrykova2012@yandex.ru

Алексей Николаевич Долецкий – доктор медицинских наук, профессор кафедры нормальной физиологии, Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия; andoletsky@volgmed.ru

Сергей Всеволодович Клаучек – доктор медицинских наук, заведующий кафедрой нормальной физиологии, Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия; s.v.klauchek@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 18.03.2024; одобрена после рецензирования 22.04.2024; принята к публикации 10.06.2024.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Information about the authors

Dmitry V. Feinstein – Postgraduate student of the Department of Normal Physiology, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia; Faynshteyndv@mail.ru

Anna S. Fokina – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Normal Physiology, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia; fasak@mail.ru

Galina A. Sevryukova – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Normal Physiology, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia; [✉] sevrykova2012@yandex.ru

Alexey N. Doletsky – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Normal Physiology, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia; andoletsky@volgmed.ru

Sergey V. Klauchek – MD, Head of the Department of Normal Physiology, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia; s.v.klauchek@yandex.ru

The article was submitted 18.03.2024; approved after reviewing 22.04.2024; accepted for publication 10.06.2024.