

Научная статья

УДК 612.281

doi: <https://doi.org/10.19163/1994-9480-2024-21-4-37-41>

Оптимизация дыхательного и эмоционально-поведенческого паттернов у хронических канюленосителей с использованием сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью

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

Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия

Аннотация. Проведен анализ эффективности применения метода сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью хроническими канюленосителями. Исследование биоэлектрической активности головного мозга проводилось по данным электроэнцефалографии. Показано, что курсовое использование процедур сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью оказывает позитивное влияние на уровень биоэлектрической активности коры головного мозга. Выявлено устойчивое сохранение эффекта курсового использования сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью на 30-й день после применения метода, что способствует оптимизации респираторной функции на фоне паттерна дыхания канюленосителя как источника аллостатической нагрузки. Метод сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью рекомендуется использовать в качестве «инструмента» управления эмоционально-поведенческим состоянием хронических канюленосителей.

Ключевые слова: хронические канюленосители, аллостатическая нагрузка, биологическая обратная связь, сенсомоторное управление дыханием, модификация дыхательного и эмоционально-поведенческого паттерна

Original article

doi: <https://doi.org/10.19163/1994-9480-2024-21-4-37-41>

Optimization of respiratory and emotional-behavioral patterns in chronic tracheostomy patients using sensorimotor control of breathing with biofeedback

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

Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

Abstract. An analysis of the effectiveness of using the method of sensorimotor control of breathing with biofeedback by chronic tracheostomy patients was carried out. The bioelectrical activity of the brain was studied using electroencephalography. A course of using sensorimotor breathing control procedures with biofeedback has a positive effect on the level of bioelectrical activity of the brain. Stable preservation of the effect of course use was shown 30 days after application of the method. This technique optimizes respiratory function by the breathing pattern in chronic tracheostomy patients, as allostatic load. The method of sensorimotor breathing control with biofeedback is recommended to be used as a «instrument» for managing the emotional and behavioral state of chronic tracheostomy patients.

Keywords: chronic cannula carriers, allostatic load, biofeedback, sensorimotor control of breathing, modification of respiratory and emotional-behavioral patterns

В последнее десятилетие в практике управления адаптацией человека к условиям аллостатической нагрузки и при разработке ее индивидуальных стратегий прочное место занимает процедура модификации функционального состояния организма с биологической обратной связью (БОС) [1, 2]. В частности, адаптивная сторона поддержания дыхательного и эмоционально-поведенческого паттернов у лиц, живущих с трахеостомой после проведения тотальной ларингэктомии и считающихся излеченными, делает чрезвычайно актуальным использование адаптивного био-

управления [3, 4, 5, 6, 7]. В случае с хроническими канюленосителями, основной акцент следует сделать на биоуправлении функцией внешнего дыхания, которое обеспечит этим людям адаптацию с учетом аллостатической нагрузки и, в целом, достойное качество жизни с трудовой и рекреационной активностью. В наибольшей степени соответствует такой задаче метод синергической коррекции двигательного и дыхательного стереотипов, обеспечивающий сопряжение частотных и амплитудных характеристик дыхания с параллельным выполнением движений, требующих тонкой

сенсомоторной координации [6, 7]. Данный метод не только оказывает влияние на регуляцию глубины дыхания и тренировку координации дыхательной мускулатуры, но и обеспечивает повышение общей эмоциональной стрессустойчивости человека, что актуально для хронических канюленосителей.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Физиологическое обоснование оптимизирующей эффективности метода сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью у хронических канюленосителей.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании приняли участие 24 обследуемых (14 женщин и 10 мужчин) в возрасте 45–65 лет, которых объединили по критерию успешного исхода радикального лечения злокачественных новообразований гортани, заключающегося в многолетнем (более пяти лет) отсутствии рецидивов и метастазов. Этих лиц можно считать излеченными и практически здоровыми, но осуществляющими свою жизнедеятельность в условиях аллостаза [8, 9, 10, 11].

Аллостатическая нагрузка определяется изменением функции внешнего дыхания, так как у них в ходе лечения полностью или частично исключались из процесса дыхания воздухоносные пути: полость носа, носоглотка и гортань до начального отдела трахеи, и дыхание осуществляется через трахеостому.

Методика «Сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью» (СУД с БОС) использовалась для оптимизации функционального состояния коры головного мозга и функции внешнего дыхания. Теоретической предпосылкой стало представление о сопряжении управления полупроизвольной дыхательной функцией на принципе БОС и произвольной двигательной функцией (СУД) – синхронные следящие движения ведущей рукой [1, 12].

В наших исследованиях методика реализовывалась с использованием стандартного оборудования: 1 – монитор компьютера или любого мобильного устройства; 2 – стандартный пьезоэлектрический датчик дыхания, зафиксированный на эластичном поясе вокруг грудной клетки «Respiratory Belt Transducer TN1132/ST»; а также принципиально нового программного обеспечения для сопряжения СУД и БОС и синхронного графического отображения сигналов датчика дыхания и джойстика (компьютерной мыши). Обследуемый согласно инструкции отслеживает на мониторе кривую собственного дыхания, повторяя как можно точнее ее траекторию с помощью джойстика. На начальном этапе с каждым обследуемым проводилась ознакомительная работа с устройством и программой, обучение фиксации датчика на своем теле с целью обеспечения возможности самостоятельного использования методики СУД с БОС.

Исследование биоэлектрической активности головного мозга проводилось по данным электроэнцефалографии [13] («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.

Анализировали ЭЭГ по стандартным частотным диапазонам: дельта (0,5–3 Гц), тета (4–7 Гц), альфа (8–13 Гц), бета-низкочастотный (бета₁ – 14–20 Гц), бета-высокочастотный (бета₂ – 21–40 Гц). Производилась регистрация фоновой ЭЭГ в состоянии физиологического покоя при закрытых глазах (исходное состояние), а также после курсового применения методики СУД с БОС. Длительность тренировки составляла 10 дней и представлена двумя пятидневными циклами с двухдневным перерывом. Оценка физиологических эффектов оптимизирующего влияния курсового использования СУД с БОС на функциональное состояние хронических канюленосителей проводилась на 12-й (окончание курса) и 30-й дни после начала курса. Данные промежутки времени выбраны с учетом целесообразности чередования процедур оптимизации паттерна дыхания с интервалом не менее месяца с целью избежать снижения их эффективности в результате адаптации к методике.

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

В результате проведенного анализа ЭЭГ обследуемых (хронических канюленосителей) выявлено соответствие частотно-амплитудных характеристик ритмов возможным вариантам показателей нормальной ЭЭГ-кривой [13, 14]. Характерными особенностями ЭЭГ обследуемых оказались следующие: показатели ритмов альфа-диапазона электроэнцефалограммы, такие как средняя амплитуда и индекс, имели относительно низкие параметры, приближающиеся к «плоскому» варианту кривой с преобладанием по индексу как бета-ритма, так и медленных волн. Подобный результат можно рассматривать как индикатор повышенной тревожности у обследуемой группы лиц [6, 7]. При этом отмечалось некоторое повышение значений амплитуды и индекса медленных частот (тета- и дельта-ритмов), что может отражать признаки гипоксического состояния организма, характерное для хронических канюленосителей.

Курсовое применение сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью характеризовалось отсутствием негативных изменений в функциональном состоянии коры головного мозга и позитивными тенденциями, отраженными в частотно-амплитудном анализе ЭЭГ. У 62 % обследуемых отмечалась динамика альфа-ритма. Характерная для обследуемых до начала курса низкоамплитудная электроэнцефалограмма с альфа-ритмом, не превышающим 20 мкВ в состоянии покоя, сменилась на более высокоамплитудную ЭЭГ к концу курса СУД с БОС, что коррелировало с формированием спокойного типа поведения и снижением поведенческой возбудимости: амплитуда альфа-ритма в затылочных отведениях в среднем повысилась с 18,8 до 26,4 мкВ; частота с 8,9

до 9,3 Гц и индекс альфа-ритма значительно увеличился до 55,1 %. Одновременно на фоне курсового применения сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью отмечалось значимое снижение индекса ритма бета₁-ритма с 58,0 до 45,4 % с последующим незначительным увеличением на 30-й день после проведения курса СУД с БОС, что также следует рассматривать как индикатор снижения возбудимости коры. Бета₂-ритм имел сходную динамику без значимого различия исследуемых параметров.

Следует отметить сохранение устойчивости остаточного эффекта СУД с БОС, что подтверждается отсутствием значимых различий при исследовании частотно-амплитудных показателей ЭЭГ через 30 дней после курса СУД с БОС (см. табл.).

Динамика биоэлектрической активности головного мозга в процессе выполнения методики СУД с БОС Me (Q₂₅–Q₇₅)

Показатели	Исходное состояние		В конце курса СУД с БОС (12 день)		После курса СУД с БОС (30 день)	
Альфа-ритм						
Амплитуда, мкВ	18,8 13,3–25,0		26,4 20,1–39,4		23,1 18,6–42,0	
Частота, Гц	8,9 8,06–9,4		9,3 9,2–9,5		9,3 8,8–9,5	
Индекс ритма, %	44,3 * 34,1–55,2		55,1 38,7–70,3		54,1 30,2–67,8	
Бета-ритм						
Диапазон	бета1	бета2	бета1	бета2	бета1	бета2
Амплитуда, мкВ	7,0 6,8–9,6	6,5 6,0–8,8	6,6 6,8–10,4	6,4 7,1–9,3	6,4 7,2–10,0	6,5 7,3–9,1
Частота, Гц	16,5 14,0–18,5	20 21,2–26,0	17,1 15,1–19,1	22,3 20,8–25,7	16,1 16,8–20,3	23,1 20,0–25,5
Индекс ритма, %	*58,0 50,3–62,1	50,8 49,0–64,4	45,4 39,8–62,0	49,0 48,5–58,1	48,5 41,8–60,0	49,4 48,4–60,6
Медленноволновая активность						
Диапазон	тета-ритм	дельта-ритм	тета-ритм	дельта-ритм	тета-ритм	дельта-ритм
Амплитуда, мкВ	*30,1 25,6–33,4	*28,6 25,8–30,1	22,1 18,6–25,0	20,5 18,1–22,3	22,0 18,6–24,9	21,1 17,8–23,0
Частота, Гц	6,3 5,8–6,5	1,5 1,2–1,8	5,8 5,0–6,1	1,8 1,3–1,9	5,9 5,2–6,4	1,7 1,1–1,8
Индекс ритма, %	7,4 6,9–8,0	14,5 13,1–16,7	5,5 6,1–8,0	11,4 10,3–14,7	6,1 6,4–9,3	12,0 10,2–14,5

* Значимое различие по сравнению с курсовым применением БОС с СУД.

Обращали на себя внимание также данные динамики показателей медленноволновой активности, заключающиеся в уменьшении их представленности в биоэлектрической активности коры. Так, выявлено снижение средней амплитуды тета-ритма на 26,6 % и дельта-ритма на 12,4 % по сравнению с исходными данными ($p \leq 0,05$). Аналогичные изменения, но имеющие характер тенденции, показало и исследование индекса медленноволновой составляющей ЭЭГ-кривой с наибольшей выраженностью в дельта-диапазоне, где снижение индекса составило в среднем 21,7 %. Можно

предположить, что подобные изменения соответствуют улучшению кислородного насыщения головного мозга, в частности, его коры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Динамика частотно-амплитудных параметров ЭЭГ при курсовом использовании процедур сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью отражает повышение представленности основных показателей (амплитуды, индекса и частоты) альфа-ритма как основного ритма коры головного

мозга, характеризующего способность коры к функциональной пластичности и достижению состояния расслабленного бодрствования. Этим изменениям соответствует и динамика бета-ритмов, проявляющаяся в снижении их представленности на ЭЭГ-кривой, что можно расценить как проявление определенного снижения уровня функциональной активности коры, обусловленного релаксационным эффектом СУД с БОС. Медленноволновая составляющая биоэлектрической активности головного мозга, представленная тета- и дельта-ритмами ЭЭГ, характеризовалась снижением таких показателей, как амплитуда и индекс, что можно расценить как признаки улучшения кислородного насыщения головного мозга, его корковых структур.

Выявленные изменения функциональной активности мозга у хронических канюленосителей свидетельствуют об оптимизирующей эффективности метода сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью.

Устойчивое сохранение эффекта курсового использования процедуры сенсомоторного управления дыханием с биологической обратной связью способствует снижению тревожного состояния и поддержанию на должном уровне респираторной функции на фоне паттерна дыхания хронических канюленосителей, что позволяет рекомендовать СУД с БОС в качестве инструмента управления эмоционально-поведенческим состоянием как у хронических канюленосителей, так и в других ситуациях, обусловленных различным генезом аллостаз, связанного с дыхательной функцией.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Барулин А.Е. Психофизиологическое обоснование применения метода сенсомоторного управления дыханием для коррекции дыхательной дисфункции при синдроме вегетативной дистонии: специальность: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Волгоград, 2004. 22 с.
2. Heutte N., Plisson L., Lange M. et al. Quality of life tools in head and neck oncology. *European annals of otorhinolaryngology, head and neck diseases*. 2014;131(1):33–47. doi: 10.1016/j.anorl.2013.05.002.
3. Park H.J., Byun M.K., Rhee C.K. et al. Significant Predictors of Medically Diagnosed Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Patients with Preserved Ratio Impaired Spirometry: A 3-Year Cohort Study. *Respiratory research*. 2018;19(1):185. doi: 10.1186/s12931-018-0896-7.
4. 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.
5. 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.

6. Micoulaud-Franchi J.A., Jeunet C., Pelissolo A. et al. EEG Neurofeedback for Anxiety Disorders and Post-Traumatic Stress Disorders: A Blueprint for a Promising Brain-Based Therapy. *Current psychiatry reports*. 2021;23:84. doi: 10.1007/s11920-021-01299-9.

7. Du Bois N., Bigirimana A.D., Korik A. et al. Neurofeedback with low-cost, wearable electroencephalography (EEG) reduces symptoms in chronic Post-Traumatic Stress Disorder. *Journal of Affective Disorders*. 2021;295:1319–1334. doi: 10.1016/j.jad.2021.08.071.

8. Севрюкова Г.А., Товмасын Л.А., Файнштейн Д.В. Роль аллостаз и аллостатической нагрузки в процессах адаптации организма человека. Сборник тезисов XXIV съезда физиологического общества им. И. П. Павлова, Санкт-Петербург, 11–15 сентября 2023 года. СПб.: Издательство ВВМ, 2023. С. 489.

9. 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.

10. McEwen B.S., Wingfield, J.C. The concept of allostasis in biology and biomedicine. *Hormones and Behavior*. 2003;43(1):2–15. doi:10.1016/s0018-506x(02)00024-7.

11. KnoxBrown B., Mulhern O., Feary J., Amaral A.F. S. Spirometry Parameters Used to Define Small Airways Obstruction in PopulationBased Studies: Systematic Review. *Respiratory research*. 2022;23(1):67. doi.org/10.1186/s12931-022-01990-2.

12. Клаучек С.В., Кудрин Р.А., Долецкий А.Н. и др. Физиологические механизмы и терапевтические мишени модифицированных состояний сознания. Волгоград: Изд-во ВолГМУ, 2023. 372 с.

13. Александров М.В., Иванов Л.Б., Лытаев С.А. и др. Электроэнцефалография: руководство. СПб.: СпецЛит, 2020. 224 с.

14. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). Руководство для врачей. М.: МЕДпресс-информ, 2017. 360 с.

REFERENCES

1. Barulin A.E. Psychophysiological justification for the use of the sensorimotor breathing control method for the correction of respiratory dysfunction in autonomic dystonia syndrome. Dissertation abstract of the Candidate of Medical Sciences. Volgograd, 2004. 22 p. (In Russ.).
2. Heutte N., Plisson L., Lange M. et al. Quality of life tools in head and neck oncology. *European annals of otorhinolaryngology, head and neck diseases*. 2014;131(1):33–47. doi: 10.1016/j.anorl.2013.05.002.
3. Park H.J., Byun M.K., Rhee C.K. et al. Significant Predictors of Medically Diagnosed Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Patients with Preserved Ratio Impaired Spirometry: A 3-Year Cohort Study. *Respiratory research*. 2018;19(1):185. doi: 10.1186/s12931-018-0896-7.
4. 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.

5. 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.

6. Micoulaud-Franchi J.A., Jeunet C., Pelissolo A. et al. EEG Neurofeedback for Anxiety Disorders and Post-Traumatic Stress Disorders: A Blueprint for a Promising Brain-Based Therapy. *Current psychiatry reports*. 2021;23:84. doi: 10.1007/s11920-021-01299-9.

7. Du Bois N., Bigirimana A.D., Korik A. et al. Neurofeedback with low-cost, wearable electroencephalography (EEG) reduces symptoms in chronic Post-Traumatic Stress Disorder. *Journal of Affective Disorders*. 2021;295:1319–1334. doi: 10.1016/j.jad.2021.08.071.

8. Sevriukova G.A. Rheostasis, allostasis, and allostatic load: what is meant by these terms? *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal = International Research Journal*. 2022;10(124). (In Russ.) doi: 10.23670/IRJ.2022.124.22.

9. Sevriukova G.A., Tovmasian L.A., Fainshtein D.V. Role of allostasis and allostatic load in the processes of adaptation of

the human body. *Sbornik tezisev XXIV sezda fiziologicheskogo obshchestva im. I. P. Pavlova = Collection of theses of the XXIV Congress of the Physiological Society named after. I. P. Pavlova*. St. Petersburg, September 11–15, 2023. St. Petersburg, VVM Publishing House, 2023:489. (In Russ.).

10. McEwen B.S., Wingfield, J.C. The concept of allostasis in biology and biomedicine. *Hormones and Behavior*. 2003;43(1):2–15. doi:10.1016/s0018-506x(02)00024-7.

11. KnoxBrown B., Mulhern O., Feary J., Amaral A.F. S. Spirometry Parameters Used to Define Small Airways Obstruction in PopulationBased Studies: Systematic Review. *Respiratory research*. 2022;23(1):67. doi.org/10.1186/s12931-022-01990-2.

12. Klauchek S.V., Kudrin R.A., Doletsky A.N. et al. Physiological mechanisms and therapeutic targets of modified states of consciousness. Volgograd, VolgSMU Publishing House, 2023. 372 p. (In Russ.).

13. Aleksandrov M.V., Ivanov L.B., Lytaev S.A. et al. Electroencephalography: manual. St. Petersburg, SpetsLit Publ., 2020. 224 p. (In Russ.).

14. Zenkov L.R. Clinical electroencephalography (with elements of epileptology). Guide for doctors. Moscow, MEDpress-inform, 2017. 360 p. (In Russ.).

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

Григорий Владимирович Клиточенко – доктор медицинских наук, профессор кафедры детских болезней педиатрического факультета, Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия; klitoch@mail.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 14.06.2024; одобрена после рецензирования 23.09.2024; принята к публикации 18.11.2024.

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

Information about the authors

Dmitry V. Faynshteyn – 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. Sevriukova – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Normal Physiology, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia; sevrykova2012@yandex.ru

Grigory V. Klitochenko – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Pediatric Diseases, Faculty of Pediatrics, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia; klitoch@mail.ru

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

The article was submitted 14.06.2024; approved after reviewing 23.09.2024; accepted for publication 18.11.2024.