

УДК 159.942

DOI: [10.26102/2310-6018/2024.46.3.025](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.46.3.025)

Обзор методов биологической обратной связи в реабилитации посттравматического стрессового расстройства

М.С. Галушка✉, В.Ю. Вишневецкий

Южный федеральный университет, Таганрог, Российская Федерация

Резюме. Посттравматическое стрессовое расстройство (ПТСР) представляет собой серьезное психическое заболевание, которое может развиваться после переживания или травматического события. Современные методы лечения включают психотерапию и фармакотерапию, но они не всегда эффективны, а некоторые пациенты могут испытывать остаточные симптомы или рецидивы. Биологическая обратная связь (БОС) – это многообещающий дополнительный метод лечения ПТСР, который фокусируется на обучении пациентов сознательно контролировать свои физиологические реакции на триггеры, связанные с травмой. БОС включает в себя использование электронных устройств для измерения и предоставления пациентам обратной связи в режиме реального времени об их физиологических функциях, таких как частота сердечных сокращений, мышечное напряжение, потоотделение и активность мозга. Анализ данных, получаемых с помощью БОС, требует разработки специализированных алгоритмов и программного обеспечения, в том числе с использованием методов машинного обучения и интеллектуального анализа данных для обработки больших массивов данных и выявления скрытых закономерностей. В данном обзоре рассмотрены существующие исследования эффективности БОС, в частности нейрофидбека и биофидбека в реабилитации ПТСР. Анализ 19 рандомизированных контролируемых исследований, проведенных в период с 2014 по 2024 год, показал, что различные виды БОС, включая нейрофидбек, БОС по variability сердечного ритма, БОС по дыханию, эффективно снижают выраженность симптомов ПТСР, а также сопутствующих тревожных и депрессивных расстройств. В обзоре также рассматриваются различные протоколы БОС, используемые в лечении ПТСР, включая типы используемых датчиков, параметры обратной связи и продолжительность лечения. Представлена модель для повышения эффективности БОС при лечении ПТСР. Результаты показывают, что БОС может быть эффективным дополнением или альтернативой традиционным методам лечения, особенно при хроническом и сложном ПТСР. Несмотря на многообещающие результаты, необходимы дальнейшие исследования с более крупными размерами выборки и стандартизированными протоколами для определения оптимальных протоколов лечения и долгосрочной эффективности БОС при ПТСР.

Ключевые слова: ПТСР, БОС, нейрофидбек, биофидбек, реабилитация, информационные технологии, интеллектуальный анализ данных, моделирование.

Для цитирования: Галушка М.С., Вишневецкий В.Ю. Обзор методов биологической обратной связи в реабилитации посттравматического стрессового расстройства. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2024;12(3). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1566> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.46.3.025

Review of biofeedback techniques in the rehabilitation of posttraumatic stress disorder

M.S. Galushka✉, V.Yu. Vishnevetsky

Southern Federal University, Taganrog, the Russian Federation

Abstract. Posttraumatic stress disorder (PTSD) is a debilitating psychiatric disorder that can develop after experiencing or a traumatic event. Current treatment approaches include psychotherapy and pharmacotherapy, however, they are not always effective, and some patients may experience residual symptoms or relapse. Biofeedback (BF) is a promising adjunctive treatment for PTSD that focuses on training patients to consciously control their physiological responses to trauma-related triggers. BF involves the use of electronic devices to measure and provide real-time feedback to patients about their physiological functions, such as heart rate, muscle tension, sweating, and brain activity. The analysis of biofeedback data requires the development of specialized algorithms and software, including machine learning and data mining techniques to process large datasets and reveal hidden patterns. This review examines the existing research on the effectiveness of BF, specifically neurofeedback and biofeedback, in the rehabilitation of PTSD. Analysis of 19 randomized controlled trials, conducted between 2014 and 2024, revealed that various types of BF, including neurofeedback, heart rate variability biofeedback, respiratory biofeedback, effectively reduce the severity of PTSD symptoms, as well as comorbid anxiety and depressive disorders. The review also discusses the different BF protocols used in the treatment of PTSD, including the types of sensors used, feedback parameters, and treatment duration. A model for increasing the effectiveness of biofeedback in the treatment of PTSD is presented. Findings indicate that BF can be an effective adjunct or alternative to traditional treatments, particularly in cases of chronic and complex PTSD. Despite promising findings, further research with larger sample sizes and standardized protocols is needed to determine the optimal treatment protocols and the long-term efficacy of BF for PTSD.

Keywords: PTSD, BF, neurofeedback, biofeedback, rehabilitation, information technology, data mining, modeling.

For citation: Galushka M.S., Vishnevetsky V.Y. Review of biofeedback methods in the rehabilitation of posttraumatic stress disorder. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2024;12(3). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1566> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.46.3.025 (In Russ.).

Введение

Посттравматическое стрессовое расстройство (ПТСР) остается одной из наиболее серьезных и распространенных психологических проблем среди людей, подвергшихся травматическим событиям. ПТСР характеризуется широким спектром симптомов, которые можно разделить на четыре основные категории: вторжение, избегание, негативные изменения в познании и настроении, а также изменения в возбуждении и реактивности. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, более 5,6 % населения в мире в какой-то момент жизни сталкиваются с этим расстройством, что ведет к серьезным последствиям для их психологического и социального благополучия, при этом половина из этих случаев вызывает стойкие симптомы [1]. Важность эффективной реабилитации для пациентов с ПТСР выделяется как приоритетное направление в их лечении. Хотя существуют эффективные методы лечения ПТСР, такие как травма-фокусированная когнитивно-поведенческая терапия (ТФ-КПТ) и некоторые фармакологические вмешательства, не все пациенты реагируют на эти методы лечения, а у некоторых развиваются устойчивые симптомы или рецидивы. Это подчеркивает необходимость изучения дополнительных вариантов лечения ПТСР.

В последние десятилетия методы на основе биологической обратной связи приобретают все большую популярность в качестве инновационных методов реабилитации ПТСР. Эти методы основаны на принципе использования биологических и нейрофизиологических сигналов для помощи пациентам в осознании и контроле своих физиологических и эмоциональных состояний. Принято разделять понятия биологической обратной связи на биофидбек (biofeedback) и нейрофидбек (neurofeedback). Биофидбек предоставляет обратную связь о физиологических

параметрах, таких как частота дыхания, сердечный ритм, артериальное давление, тогда как нейрофидбек измеряет активность мозга с помощью электроэнцефалографии (ЭЭГ).

Биологическая обратная связь (БОС) генерирует большое количество данных, которые могут быть использованы для более глубокого понимания механизмов ПТСР и оптимизации процесса лечения. Применение методов машинного обучения и интеллектуального анализа данных к данным, получаемым с помощью БОС, открывает новые возможности для персонализации лечения и повышения его эффективности. Алгоритмы машинного обучения могут использоваться для выявления паттернов в физиологических данных, которые коррелируют с симптомами ПТСР, что позволяет создавать индивидуальные протоколы лечения. Интеллектуальный анализ данных может помочь в выявлении предикторов успешности лечения и прогнозировании результатов терапии.

Цель настоящего обзора заключается в систематизации и анализе существующих методов биологической обратной связи в реабилитации ПТСР. В работе рассматриваются информационные технологии, лежащие в основе БОС, и представлен обзор современных исследований в этой области. Проанализирована эффективность и перспективы развития данных методов с точки зрения применения информационных технологий. Работа будет обзором современных исследований в этой области, предоставляя анализ эффективности и перспективы развития данных методов. Это имеет важное значение для дальнейшего улучшения результатов лечения и качества жизни пациентов с ПТСР.

Материалы и методы

Это исследование представляет собой систематический обзор, выполненный с применением методологии, обеспечивающей воспроизводимость результатов. Для оценки и отбора включенных в обзор статей использовался PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) [2]. В данном обзоре проанализированы исследования, опубликованные в период с 2014 по 2024 годы, и посвященные методам реабилитации ПТСР с использованием БОС. Для отбора статей, соответствующих критериям включения, были использованы базы данных PubMed, ScienceDirect, Google Scholar и Mendeley. Поиск осуществлялся с использованием следующего запроса: ((neurofeedback) OR (biofeedback)) AND ((PTSD) OR (post-traumatic stress disorder)).

Отбирались статьи, соответствующие следующим критериям:

1. Описывали использование биологической обратной связи для лечения ПТСР.
2. Публиковались в период с 2014 по 2024 годы.
3. Являлись рандомизированными контролируемые исследованиями (РКИ).

Анализ данных осуществлялся с использованием метода синтеза включенных статей. По результатам анализа были выделены основные направления исследований. В данном обзоре не проводился статистический анализ данных.

Этот обзор не охватывает вопросы этики и конфиденциальности, поскольку в нем использовались только опубликованные материалы. Одним из основных ограничений данного обзора является невозможность проведения мета-анализа результатов из-за значительного разнообразия технических решений, применяемых в исследованиях. Кроме того, наличие публикационного смещения в сторону положительных результатов также может оказать влияние на итоги данного обзора. С использованием ключевых слов была найдена 141 статья из различных источников. После удаления дубликатов и применения критериев включения осталось 19 статей, включенных в данное исследование. После оценки качества включенных статей были выделены основные подходы к использованию биологической обратной связи в реабилитации пациентов с

ПТСР, оценена их эффективность, а также предложены способы улучшения методов лечения данного расстройства.

Результаты

Обзор включает девятнадцать РКИ, проведенных в различных странах, с участием участников разных возрастных групп и половой принадлежности. Исследования проводились в разных странах, включая Соединенные Штаты Америки, Австралию, Канаду, Иран, Южную Корею и Руанду. Кроме того, включены исследования с использованием различных методов обратной связи, таких как функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) [3–7], биообратная связь по variability сердечного ритма (HRV) [8–12], нейрофидбек с использованием различных альфа-, тета- и бета-ритмов [13–16], а также другие методы, такие как дыхание [17–19], биообратная связь по кожно-гальванической реакции [20] и электромиография (ЭМГ) в сочетании с электростимуляцией [21]. В двух исследованиях дополнительным фактором лечения являлось воспроизведение травматического опыта у пациента, что в итоге дополнительно повысило эффективность лечения [4, 6].

Участники этих исследований страдали от различных форм травматических событий, включая участие в боевых действиях (у ветеранов), жестокое обращение с детьми или отсутствие заботы, домашнее насилие, происшествия на дорогах, насилие в школьной среде, а также военные конфликты, геноцид и переживание травматических событий, связанных с беженством. Время, прошедшее после этих травм, варьировалось от нескольких месяцев до десятилетий. Большинство участников включенных исследований пережили не только одну травму, но и множество травм в течение продолжительного времени.

Важно отметить, что выборка пациентов во всех включенных в обзор исследованиях состоит из людей, у которых был подтвержден диагноз ПТСР психиатром, а также с использованием опросников CAPS/IES-R/PCL-5/MMPI-PTSD. В одном из исследований проблемой, осложняющей лечение, был алкоголизм, а в другом – хроническая боль.

В большинстве исследований сообщалось о статистически значимом снижении симптомов ПТСР после вмешательства с использованием биологической обратной связи. Например, в исследовании Van Der Kolk (2016) [13] средний балл по шкале CAPS снизился с 79,45 до 42,95 в группе вмешательства, в то время как в контрольной группе снижение было незначительным (с 76,24 до 66,49). В исследовании Burch (2020) [10] участники группы вмешательства, получавшие биофидбек по HRV, показали значительное улучшение сна, их средний балл по шкале ISQ (sleep symptoms) снизился с 14,5 до 8,1. Обобщенные данные результатов исследований приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики включенных исследований
Table 1 – Characteristics of the included studies

Исследование	Тип обратной связи	Длительность	Группа	N	Показатель результата	Значение до (среднее, С.О.)	Значение после (среднее, С.О.)
Burch (2020) Symptom Management Among Cancer Survivors	HRV	4–6 сеансов по 25 минут	Эксперимент	17	ISQ (sleep symptoms)	14,5 (1,5)	8,1 (1,3)

Таблица 1 (продолжение)

Table 1 (continued)

Burch (2020) Symptom Management Among Cancer Survivors	HRV	4–6 сеансов по 25 минут	Контроль	17	ISQ (sleep symptoms)	16,1 (1,4)	17,9 (3,3)
Zhao (2023) Amygdala downregulation training using fMRI neurofeedback in post-traumatic stress disorder	Нейрофидбек (fMRI)	3 сеанса по 20 минут	Эксперимент	14	Change in amygdala downregulation ability	Нет данных	-0,279 (0,146)
Zhao (2023) Amygdala downregulation training using fMRI neurofeedback in post-traumatic stress disorder	Нейрофидбек (fMRI)	3 сеанса по 20 минут	Контроль	11	Change in amygdala downregulation ability	Нет данных	0,202 (0,167)
Fruchtman-Steinbok (2021) Amygdala electrical-fingerprint (AmygEFP) NeuroFeedback guided by individually-tailored Trauma script for post-traumatic stress disorder	Нейрофидбек (AmygEFP)	15 сеансов по 40 минут	Эксперимент (Trauma-NF)	13	CAPS-5	Нет данных	-35,13%
Fruchtman-Steinbok (2021) Amygdala electrical-fingerprint (AmygEFP) NeuroFeedback guided by individually-tailored Trauma script for post-traumatic stress disorder	Нейрофидбек (AmygEFP)	15 сеансов по 40 минут	Эксперимент (Neutral-NF)	14	CAPS-5	Нет данных	-19,48%

Таблица 1 (продолжение)

Table 1 (continued)

Fruchtman-Steinbok (2021) Amygdala electrical-fingerprint (AmygEFP) NeuroFeedback guided by individually-tailored Trauma script for post-traumatic stress disorder	Нейрофидбек (AmygEFP)	15 сеансов по 40 минут	Контроль (No-NF)	13	CAPS-5	Нет данных	-0,23%
Fine (2024) Amygdala-related electroencephalogram neurofeedback as add-on therapy for treatment-resistant childhood sexual abuse posttraumatic stress disorder	Нейрофидбек (ЭЭГ)	10 сеансов по 50 минут	Эксперимент	40	CAPS-5	40,52 (9,92)	31,66 (11,83)
Fine (2024) Amygdala-related electroencephalogram neurofeedback as add-on therapy for treatment-resistant childhood sexual abuse posttraumatic stress disorder	Лист ожидания	10 сеансов по 50 минут	Контроль	15	CAPS-5	43,06 (10)	39,78 (12,51)
Zweerings (2020) Rt-fMRI neurofeedback-guided cognitive reappraisal training modulates amygdala responsivity in posttraumatic stress disorder	Нейрофидбек (fMRI)	1 сеанс 45 минут	Эксперимент (Rt-fMRI neurofeedback)	20	Positive and Negative Affect Scale (PANAS)	Нет данных	3,1 (5,9)
Schuman (2023) A Pilot Study of a Three-Session Heart Rate Variability Biofeedback Intervention for Veterans with Posttraumatic Stress Disorder	Биофидбек по variability-сердечного ритма (HRV)	3 сеанса по 20 минут	Эксперимент	18	PCL-5	57,75 (10,10)	50,73 (16,73)

Таблица 1 (продолжение)

Table 1 (continued)

Schuman (2023) A Pilot Study of a Three-Session Heart Rate Variability Biofeedback Intervention for Veterans with Posttraumatic Stress Disorder	Лист ожидания	3 сеанса по 20 минут	Контроль	18	PCL-5	53,31 (11,28)	48,60 (10,80)
Pyne (2019) Heart Rate Variability and Cognitive Bias Feedback Interventions to Prevent Post-deployment PTSD	Биофидбек по variabilityности сердечного ритма (HRV)	12 месяцев	Эксперимент	342	PCL	Нет данных	-0,97 (без предыдущего опыта боевых действий) -1,03 (с опытом боевых действий)
Pyne (2019) Heart Rate Variability and Cognitive Bias Feedback Interventions to Prevent Post-deployment PTSD	Модификация когнитивных искажений	12 месяцев	Эксперимент	342	PCL	Нет данных	-0,41 (23-42 года, без боевого опыта)
Pyne (2019) Heart Rate Variability and Cognitive Bias Feedback Interventions to Prevent Post-deployment PTSD	Лист ожидания	12 месяцев	Контроль	342	PCL	Нет данных	Нет данных
Burch (2020) Symptom Management Among Cancer Survivors	Биофидбек по variabilityности сердечного ритма (HRV)	4–6 сеансов по 25 минут	Эксперимент	17	HRV Coherence Ratio	0,37 (0,05)	0,84 (0,18)
Burch (2020) Symptom Management Among Cancer Survivors	Лист ожидания	4–6 сеансов по 25 минут	Контроль	17	HRV Coherence Ratio	0,40 (0,05)	0,33 (0,17)
Lewis (2015) Relaxation training assisted by heart rate variability biofeedback	Биофидбек по variabilityности сердечного ритма (HRV)	1 сеанс 20 минут	Эксперимент	469	LF-HRV	Нет данных	0,19 (0,1)

Таблица 1 (продолжение)

Table 1 (continued)

Lewis (2015) Relaxation training assisted by heart rate variability biofeedback	Лист ожидания	1 сеанс 20 минут	Контроль	422	LF-HRV	Нет данных	-0,04 (0,07)
Forman-Hoffman (2024) Therapist-supported digital mental health intervention for depressive symptoms	Биофидбек по variability сердечного ритма (HRV)	12 сеансов	Эксперимент	54	PHQ-9	15,02 (0,81)	8,66 (0,90)
Forman-Hoffman (2024) Therapist-supported digital mental health intervention for depressive symptoms	Лист ожидания	12 сеансов	Контроль	46	PHQ-9	15,73 (0,88)	13,87 (0,94)
Van Der Kolk (2016) A Randomized Controlled Study of Neurofeedback for Chronic PTSD	Нейрофидбек	24 сеанса по 30 минут	Эксперимент	28	CAPS	79,45	42,95
Van Der Kolk (2016) A Randomized Controlled Study of Neurofeedback for Chronic PTSD	Лист ожидания	24 сеанса по 30 минут	Контроль	24	CAPS	76,24	66,49
Nicholson (2020) A randomized, controlled trial of alpha-rhythm EEG neurofeedback in posttraumatic stress disorder	Нейрофидбек (alpha-down)	20 сеансов по 20 минут	Эксперимент	18	CAPS (CAPS-5)	36,86 (10,36)	24,39 (15,61)
Nicholson (2020) A randomized, controlled trial of alpha-rhythm EEG neurofeedback in posttraumatic stress disorder	Нейрофидбек (alpha-down)	20 сеансов по 20 минут	Контроль	18	CAPS (CAPS-5)	39,94 (7,83)	32,78 (12,27)
Rogel (2020) The impact of neurofeedback training on children with developmental trauma	Нейрофидбек (NFT)	24 сеанса по 18 минут	Эксперимент	20	CBCL	18,98	11,02

Таблица 1 (продолжение)

Table 1 (continued)

Rogel (2020) The impact of neurofeedback training on children with developmental trauma	–	24 сеансов по 18 минут	Контроль	17	CBCL	24,36	23,42
Shaw (2023) Increased top-down control of emotions during symptom provocation working memory tasks following a RCT of alpha-down neurofeedback in PTSD	Нейрофид-бек (alpha-down)	20 сеансов по 20 минут	Эксперимент	18	CAPS	36,86 (10,36)	24,39 (15,61)
Shaw (2023) Increased top-down control of emotions during symptom provocation working memory tasks following a RCT of alpha-down neurofeedback in PTSD	Нейрофид-бек (alpha-down)	20 сеансов по 20 минут	Контроль	17	CAPS	39,64 (7,97)	32,78 (12,27)
Wallace (2022) Implementation of a Mobile Technology-Supported Diaphragmatic Breathing Intervention in Military mTBI with PTSD	Дыхательная биологическая обратная связь (BreatheWell Wear)	14 недель	Эксперимент	15	PCL-5	54,60 (13,81)	38,60 (18,95)
Wallace (2022) Implementation of a Mobile Technology-Supported Diaphragmatic Breathing Intervention in Military mTBI with PTSD	Психотерапия	14 недель	Контроль	15	PCL-5	56,67 (16,31)	39,60 (20,35)

Таблица 1 (продолжение)

Table 1 (continued)

Rosaura Polak (2015) Breathing Biofeedback as an Adjunct to Exposure in Cognitive Behavioral Therapy Hastens the Reduction of PTSD Symptoms	Дыхательная биологическая обратная связь	8–12 минут	Эксперимент	4	IES-R	45	8
Rosaura Polak (2015) Breathing Biofeedback as an Adjunct to Exposure in Cognitive Behavioral Therapy Hastens the Reduction of PTSD Symptoms	Когнитивно-поведенческая терапия	8–12 минут	Контроль	4	IES-R	41,5 (Нет данных)	46 (Нет данных)
Wesemann (2016) Evaluation of a Technology-Based Adaptive Learning and Prevention Program for Stress Response	Биофидбек	1,5 дня	Эксперимент (CHARLY)	36	Global Severity Index (GSI)	0,11 (0,143)	0,22 (0,31)
Wesemann (2016) Evaluation of a Technology-Based Adaptive Learning and Prevention Program for Stress Response	–	1,5 дня	Контроль	31	Global Severity Index (GSI)	0,31 (0,268)	0,41 (0,575)

В таблице 1 представлены данные об изменении показателей в результате использования различных методов БОС. Отрицательные значения означают уменьшение показателя относительно исходных значений, а положительные – увеличение. Данные представлены в процентах, если в исходном исследовании не указаны точные числовые значения. Результаты контролируемых клинических исследований демонстрируют статистически значимое уменьшение симптомов ПТСР у пациентов, применявших лечение во всех отобранных исследованиях. В нескольких исследованиях также оценивается снижение тревожности и симптомов депрессии. Поскольку различий в эффекте обратной связи на симптомы ПТСР в зависимости от возраста, гендера пациентов, а также генезиса заболевания не было выявлено, то можно заключить, что данный метод одинаково эффективен для данных групп людей.

Тем не менее у приведенных исследований есть и некоторые ограничения. Многие включенные исследования имели относительно небольшой размер выборки, что ограничивает обобщаемость результатов. Различия в типах используемой БОС, протоколах лечения и показателях исхода затрудняют прямое сравнение результатов разных исследований. С учетом неоднородности методов обратной связи, типов сигнала

и способов обработки данных, представленных в исследованиях, унификация данных для количественного мета-анализа не представляется возможной. Оценка эффективности БОС в лечении ПТСР основывается на качественных предположениях, вытекающих из статистической обработки данных оригинальных исследований. В некоторых исследованиях, где выборка была достаточно большой [5, 9, 11, 12], наблюдалось статистически значимое снижение симптомов ПТСР, что позволяет говорить об эффективности данного подхода. Тем не менее, для установления более точных закономерностей, определения оптимальных протоколов лечения и наиболее эффективных способов применения БОС в реабилитации ПТСР необходима стандартизация исследований в этой области.

Обсуждение

Результаты обзора подчеркивают разнообразие протоколов, использующих биологическую обратную связь, используемых в лечении ПТСР у пациентов различного возраста и гендера. Включенные исследования использовали различные методы, включая нейрофидбек на основе низкочастотного ЭЭГ, функциональной магнитно-резонансной томографии реального времени, вариабельности сердечного ритма и дыхания, что указывает на адаптивность этой техники к индивидуальным потребностям пациентов. Однако, отсутствие ясности относительно оптимального подхода к лечению ПТСР требует дальнейших исследований для определения наиболее эффективных протоколов.

Результаты приведенных в обзоре исследований показывают значительные преимущества нейрофидбека и биофидбека как методов лечения ПТСР у взрослых. Группы, проходившие лечение с биологической обратной связью, демонстрировали заметно более высокие уровни ремиссии по сравнению с контрольными группами. Важно отметить, что эти положительные эффекты были устойчивыми и не сопровождались существенными побочными эффектами.

Для повышения эффективности БОС при лечении ПТСР предлагается использовать следующую модель:

1. Сбор данных. На этом этапе с помощью датчиков собираются данные о физиологических показателях пациента, таких как активность мозга (ЭЭГ), вариабельность сердечного ритма (ВСР), мышечная активность (ЭМГ) и т. д.

2. Обработка и анализ данных. Собранные данные обрабатываются с использованием методов цифровой обработки сигналов. На этом этапе важно не только отфильтровать шумы и артефакты, но и извлечь значимую информацию, которая может быть использована для оптимизации лечения. Для выявления скрытых закономерностей и создания персонализированных протоколов лечения применяются методы машинного обучения, такие как классификация, регрессия и кластеризация. Интеллектуальный анализ данных используется для извлечения знаний из больших массивов данных БОС, что позволяет оптимизировать процесс лечения и прогнозировать его результаты.

3. Визуализация. Обработанные данные преобразуются в понятный для пациента вид (графики, анимация, звук), чтобы он мог отслеживать свои физиологические показатели в режиме реального времени.

4. Обучение. Пациент учится контролировать свои физиологические показатели, используя обратную связь, предоставляемую системой.

Эффективность нейрофидбека и биофидбека в снижении симптомов посттравматического стрессового расстройства указывает на его потенциал как жизнеспособного варианта лечения, который может дополнять существующие методы интервенции или даже служить альтернативой им. Доказательства, приведенные ранее,

подтверждают значительное уменьшение симптомов ПТСР в группах, проходивших лечение с использованием биологической обратной связи. Это позволяет предположить, что данный метод может быть включен в начальные этапы терапии для снижения возбуждения нервной системы и улучшения функционирования ключевых мозговых сетей, ответственных за регуляцию эмоций и взаимодействие в режиме по умолчанию. Такой подход, основанный на принципах нейробиологии, предоставляет больше возможностей для доступных и эффективных психологических вмешательств. Среди преимуществ нейрофидбека и биофидбека или, обобщая, БОС можно выделить следующие пункты:

1. БОС предоставляет пациентам чувство контроля и активного участия в процессе лечения, что может быть особенно важным для людей, переживших травму.
2. БОС является неинвазивной и безопасной, без известных побочных эффектов, связанных с некоторыми лекарствами.
3. БОС может быть адаптирована к индивидуальным потребностям каждого пациента, учитывая специфику его симптомов и жизненного опыта.

Интеграция нейрофидбека и биофидбека с другими терапевтическими методами может привести к более комплексному и индивидуализированному подходу к лечению ПТСР, учитывающему как психологические, так и нейрофизиологические аспекты последствий травмы. Например, комбинирование этих методов с традиционными психотерапевтическими методами может усилить эффективность обеих терапий и обеспечить более глубокие и долгосрочные результаты.

Дополнительное доказательство клинической ценности нейрофидбека предоставляется его положительным воздействием на симптомы депрессии и тревоги, часто сопутствующие ПТСР. Хотя уровень достоверности этих результатов может быть низким, наблюдаемое улучшение симптомов подтверждает потенциал нейрофидбека для комплексного лечения ПТСР и связанных с ним психологических нарушений.

В целом, потенциальный терапевтический эффект нейрофидбека в восстановлении нейрофизиологического функционирования и облегчении симптомов ПТСР делает его ценным дополнением к традиционным методам лечения. Он является многообещающим методом особенно в случаях хронического и сложного ПТСР, когда традиционные методы лечения могут оказаться недостаточно эффективными.

Хотя эффективность нейрофидбека и биофидбека в лечении ПТСР кажется обнадеживающей, обзор имеет ограничения. Оценка риска предвзятости осуществлялась только одним человеком, что может повлиять на объективность. Использование ограниченных поисковых запросов увеличивает риск упущения исследований.

Различные типы вмешательств с биологической обратной связью вносят сложности в определение наиболее эффективного подхода. Отсутствие стандартизированных протоколов и процедур усложняет сравнение результатов. Гетерогенность в исследованиях, связанная с различиями в участниках и характеристиках травм, также усложняет интерпретацию результатов.

Разнообразие показателей оценки симптомов ПТСР в различных исследованиях делает обобщение результатов затруднительным. Небольшие размеры выборки в большинстве исследований ограничивают статистическую значимость результатов и их обобщаемость.

В целом, несмотря на многообещающие результаты в использовании нейрофидбека и биофидбека для лечения ПТСР, уровень доказательности варьируется от умеренных до низких. Будущие исследования, включая многоцентровые рандомизированные клинические исследования с разнообразными популяциями, стандартизированными протоколами и долгосрочными оценками, необходимы для уточнения эффективности методов. Расширение оценки результатов на когнитивные

функции и другие аспекты ПТСР может углубить наше понимание клинических преимуществ лечения на основе биологической обратной связи. Дальнейшее изучение технических аспектов нейрофидбека и биофидбека и их совместного применения с другими способами лечения (психотерапия и фармацевтическое лечение) может оптимизировать их применение в клинической практике. Интеграция передовых методов нейровизуализации, таких как фМРТ и количественная электроэнцефалография (КЭЭГ), может дополнительно пролить свет на механизмы действия нейрофидбека на мозг и его эффективность.

Заключение

Настоящий обзор, основанный на анализе 19 рандомизированных контролируемых исследований, подтверждает, что БОС, включая нейрофидбек, представляет собой многообещающий дополнительный подход к реабилитации пациентов с ПТСР. Результаты свидетельствуют о том, что БОС может эффективно снижать выраженность симптомов ПТСР, таких как вторжение, избегание, гипервозбудимость и эмоциональные нарушения, а также улучшать сопутствующие симптомы, такие как тревожность и депрессия.

Клиническая значимость БОС заключается в ее неинвазивности и безопасности. В отличие от некоторых фармакологических вмешательств, БОС не имеет выраженных побочных эффектов и дает пациентам чувство контроля над своим лечением. Важным преимуществом БОС является возможность индивидуализации лечения с учетом специфических физиологических и психологических факторов, способствующих симптомам ПТСР. Предварительные данные свидетельствуют о том, что БОС может способствовать долгосрочной ремиссии симптомов ПТСР, обучая пациентов навыкам саморегуляции, которые они могут продолжать использовать и после окончания лечения.

Несмотря на обнадеживающие результаты, необходимы дальнейшие исследования для определения наиболее эффективных протоколов БОС для различных подгрупп пациентов с ПТСР, учитывая тип и тяжесть симптомов, а также индивидуальные особенности. Важно углубить понимание точных механизмов действия БОС при ПТСР. Дальнейшие исследования с использованием нейровизуализации и других методов могут помочь пролить свет на нейробиологические основы эффективности БОС. Также важно изучить эффективность комбинированных подходов, сочетающих БОС с другими видами лечения ПТСР, такими как ТФ-КПТ или фармакотерапия.

Таким образом, БОС, в частности нейрофидбек, является многообещающим направлением в реабилитации ПТСР. Этот неинвазивный и безопасный метод имеет потенциал для улучшения симптомов, повышения функциональных возможностей и качества жизни пациентов. Внедрение методов машинного обучения и интеллектуального анализа данных в область БОС при ПТСР имеет огромный потенциал для персонализации лечения и повышения его эффективности. Разработка специализированных алгоритмов и программного обеспечения для анализа данных БОС позволит оптимизировать протоколы лечения и улучшить результаты терапии для пациентов с ПТСР. Дальнейшие исследования с более крупными выборками, стандартизированными протоколами и долгосрочными наблюдениями помогут уточнить роль БОС в лечении ПТСР и оптимизировать ее применение в клинической практике.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Koenen K.C. et al. Posttraumatic stress disorder in the World Mental Health Surveys. *Psychological Medicine*. 2017;47(13):2260–2274. <https://doi.org/10.1017/s0033291717000708>
2. Moher D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *BMJ*. 2009;339. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2535>
3. Zhao Z. et al. Amygdala downregulation training using fMRI neurofeedback in post-traumatic stress disorder: a randomized, double-blind trial. *Translational Psychiatry*. 2023;13(1). <https://doi.org/10.1038/s41398-023-02467-6>
4. Fruchtman-Steinbok T. et al. Amygdala Electrical-Finger-Print (AmygEFP) NeuroFeedback Guided by Individually-tailored Trauma Script for Post-Traumatic Stress Disorder: Proof-of-Concept. *NeuroImage Clinical*. 2021;32. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2021.102859>
5. Fine N.B. et al. Amygdala-related electroencephalogram neurofeedback as add-on therapy for treatment-resistant childhood sexual abuse posttraumatic stress disorder: feasibility study. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*. 2024;78(1):19–28. <https://doi.org/10.1111/pcn.13591>
6. Harlé K.M. et al. Neural affective mechanisms associated with treatment responsiveness in veterans with PTSD and comorbid alcohol use disorder. *Psychiatry Research Neuroimaging*. 2020;305. <https://doi.org/10.1016/j.psychresns.2020.111172>
7. Zweerings J. et al. Rt-fMRI neurofeedback-guided cognitive reappraisal training modulates amygdala responsivity in posttraumatic stress disorder. *NeuroImage Clinical*. 2020;28. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2020.102483>
8. Schuman D.L. et al. A Pilot Study of a Three-Session Heart Rate Variability Biofeedback Intervention for Veterans with Posttraumatic Stress Disorder. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2023;48(1):51–65. <https://doi.org/10.1007/s10484-022-09565-z>
9. Pyne J.M. et al. Heart Rate Variability and Cognitive Bias Feedback Interventions to Prevent Post-Deployment PTSD: Results from a Randomized Controlled Trial. *Military Medicine*. 2019;184(1-2):e124–e132. <https://doi.org/10.1093/milmed/usy171>
10. Burch J.B. et al. Symptom Management Among Cancer Survivors: Randomized Pilot Intervention Trial of Heart Rate Variability Biofeedback. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2020;45(2):99–108. <https://doi.org/10.1007/s10484-020-09462-3>
11. Lewis G.F. et al. Relaxation training assisted by heart rate variability biofeedback: Implication for a military predeployment stress inoculation protocol. *Psychophysiology*. 2015;52(9):1167–1174. <https://doi.org/10.1111/psyp.12455>
12. Forman-Hoffman V.L. et al. Therapist-supported digital mental health intervention for depressive symptoms: A randomized clinical trial. *Journal of Affective Disorders*. 2024;349:494–501. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2024.01.057>
13. Van Der Kolk B.A. et al. A Randomized Controlled Study of Neurofeedback for Chronic PTSD. *PLOS ONE*. 2016;11(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166752>
14. Nicholson A.A. et al. A randomized, controlled trial of alpha-rhythm EEG neurofeedback in posttraumatic stress disorder: A preliminary investigation showing evidence of decreased PTSD symptoms and restored default mode and salience network connectivity using fMRI. *NeuroImage Clinical*. 2020;28. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2020.102490>
15. Rogel A. et al. The impact of neurofeedback training on children with developmental trauma: A randomized controlled study. *Psychological Trauma Theory Research Practice and Policy*. 2020;12(8):918–929. <https://doi.org/10.1037/tra0000648>

16. Shaw S.B. et al. Increased top-down control of emotions during symptom provocation working memory tasks following a RCT of alpha-down neurofeedback in PTSD. *NeuroImage Clinical*. 2023;37. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2023.103313>
17. Wallace T. et al. Implementation of a Mobile Technology-Supported Diaphragmatic Breathing Intervention in Military mTBI With PTSD. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*. 2022;37(3):152–161. <https://doi.org/10.1097/HTR.0000000000000774>
18. Wahbeh H. et al. Mechanistic Pathways of Mindfulness Meditation in Combat Veterans With Posttraumatic Stress Disorder. *Journal of Clinical Psychology*. 2016;72(4):365–383. <https://doi.org/10.1002/jclp.22255>
19. Rosaura Polak A. et al. Breathing Biofeedback as an Adjunct to Exposure in Cognitive Behavioral Therapy Hastens the Reduction of PTSD Symptoms: A Pilot Study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2015;40(1):25–31. <https://doi.org/10.1007/s10484-015-9268-y>
20. Wesemann U. et al. Evaluation of a Technology-Based Adaptive Learning and Prevention Program for Stress Response—A Randomized Controlled Trial. *Military Medicine*. 2016;181(8):863–871. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-15-00100>
21. Peacock K.S. et al. A randomized trial comparing the Tennant Biomodulator to transcutaneous electrical nerve stimulation and traditional Chinese acupuncture for the treatment of chronic pain in military service members. *Military Medical Research*. 2019;6(1). <https://doi.org/10.1186/s40779-019-0227-4>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Галушка Михаил Сергеевич, аспирант, Южный федеральный университет, Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения, Таганрог, Российская Федерация.

e-mail: mgalushka@sfedu.ru

Mikhail S. Galushka, Postgraduate Student, Southern Federal University, Institute of Nanotechnology, Electronics and Instrumentation, Taganrog, the Russian Federation.

Вишневецкий Вячеслав Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, Южный федеральный университет, Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения, Таганрог, Российская Федерация.

e-mail: yuvishnevetcky@sfedu.ru

ORCID: [0000-0002-3953-0207](https://orcid.org/0000-0002-3953-0207)

Vyacheslav Y. Vishnevetsky, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Southern Federal University, Institute of Nanotechnology, Electronics and Instrumentation, Taganrog, the Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 03.06.2024; одобрена после рецензирования 14.08.2024; принята к публикации 19.08.2024.

The article was submitted 03.06.2024; approved after reviewing 14.08.2024; accepted for publication 19.08.2024.