

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ / PSYCHOPHYSIOLOGY

Обзорная статья / Review article
<https://doi.org/10.11621/npj.2024.0415>
УДК/UDK 159.91

Психофизиология посттравматического стрессового расстройства: механизмы, диагностика, нейрореабилитация

А.М. Черноризов¹, А.П. Шкуринов¹, С.А. Исайчев¹, А.В. Пилечева^{1,2} ✉,
И.А. Ожередов¹, А.В. Петров¹, А.Е. Манаенков¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

²Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Российская Федерация

✉ Adita2010@yandex.ru

Резюме

Актуальность. До 30% участников боевых действий имеют диагноз «боевой синдром» (посттравматическое стрессовое расстройство, ПТСР), а у 15% ветеранов его симптомы обнаруживаются даже через 10 лет после окончания войны. Не только во время военных действий, но и в мирное время около 60% людей в разные периоды своей жизни сталкиваются с травматическими событиями, которые могут провоцировать у них появление расстройства, по совокупности признаков напоминающего «боевой синдром».

Цель. ПТСР — это мультимодальное расстройство, диагностика и лечение которого требует междисциплинарного подхода. Целью работы является анализ основных методов психофизиологической (инструментальной) диагностики и нейрореабилитации ПТСР.

Результаты. Выделены ключевые направления психофизиологических исследований механизмов формирования ПТСР. Представлен обзор достижений и перспектив клинической психофизиологии в области разработки инструментальных методов диагностики и нейрореабилитации ПТСР.

Выводы. Методы психофизиологии в комплексе с методами психо- и фармакотерапии повышают эффективность лечения ПТСР и являются незаменимыми в ситуациях, когда пациенты не доверяют методам конвенциональной медицины или обнаруживают нечувствительность к традиционной терапии. Наиболее перспективными направлениями в развитии методов инструментальной диагностики и коррекции ПТСР являются разработка техник нейробиоуправления и адаптивных нейроинтерфейсов, методов ТЭС и ТМС, изучение вклада генетических и эпигенетических факторов в этиологию ПТСР.

Ключевые слова: посттравматическое стрессовое расстройство (ПТСР), электроэнцефалограмма (ЭЭГ), миндалина, гипоталамо-адреналовая система, кожно-гальваническая реакция (КГР), инфракрасная термография, нейробиоуправление, реконсолидация, психофармакотерапия

Финансирование. Работа выполнена при поддержке «Программы Развития Московского университета имени М.В. Ломоносова», проект № 23А-Ш06-01.

Для цитирования: Черноризов, А.М., Шкуринов, А.П., Исайчев, С.А., Пилечева, А.В., Ожередов, И.А., Петров, А.В., Манаенков, А.Е. (2024). Психофизиология посттравматического стрессового расстройства: механизмы, диагностика, нейрореабилитация. *Национальный психологический журнал*, 19(4), 215–228. <https://doi.org/10.11621/npj.2024.0415>

Psychophysiology of Post-Traumatic Stress Disorder: Mechanisms, Diagnostics, Neurorehabilitation

Alexander M. Chernorizov¹, Alexander P. Shkurinov¹, **Sergey A. Isaychev¹**,
Adita V. Pilecheva^{1,2} ✉, Ilya A. Ozheredov¹, Alexander V. Petrov¹, Alexander E. Manaenkov¹

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

²National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russian Federation

✉ adita2010@yandex.ru

Abstract

Background. Up to 30% of combatants are diagnosed with combat syndrome (post-traumatic stress disorder, PTSD), and 15% of veterans show symptoms even 10 years after the end of the war. Not only during hostilities, but also in peacetime, about 60% of people at different periods of their lives encounter traumatic events that can provoke a disorder that, in its totality of symptoms, resembles “combat syndrome”.

Objective. PTSD is a multimodal disorder, the diagnosis and treatment of which requires an interdisciplinary approach. The article is devoted to a brief review of methods of psychophysiological (instrumental) diagnosis and neurorehabilitation of PTSD.

Results. The key areas of psychophysiological research into the mechanisms of PTSD formation are highlighted. A review of the achievements and prospects of clinical psychophysiology in the development of instrumental methods for the diagnosis and neurorehabilitation of PTSD is presented.

Conclusions. Methods of psychophysiology in combination with methods of psycho- and pharmacotherapy increase the effectiveness of treatment of PTSD and are indispensable in situations where patients do not trust the methods of conventional medicine or show insensitivity to traditional therapy. The most promising directions in the development of methods for instrumental diagnosis and correction of PTSD are the development of neurofeedback techniques and adaptive neural interfaces, TES and TMS methods, and the study of the contribution of genetic and epigenetic factors to the etiology of PTSD.

Keywords: combat syndrome, post-traumatic stress disorder (PTSD), electroencephalogram (EEG), amygdala, hypothalamic-adrenal system, galvanic skin response (GSR), infrared thermography, neurofeedback, reconsolidation, psychopharmacotherapy

Funding. The study has been supported by “The Development Program of M.V. Lomonosov Moscow State University”, project No. 23A-Sh06-01.

For citation: Chernorizov, A.M., Shkurinov, A.P., Isaychev, S.A., Pilecheva, A.V., Ozheredov, I.A., Petrov, A.V., Manaenkov, A.E. (2024). Psychophysiology of post-traumatic stress disorder: mechanisms, diagnostics, neurorehabilitation. *National Psychological Journal*, 19(4), 215–228. <https://doi.org/10.11621/npj.2024.0415>

Введение

Исследуются психофизиологические аспекты проблемы посттравматического стрессового расстройства (ПТСР).

Синдром ПТСР представляет собой комплексное психофизиологическое расстройство, развивающееся вследствие сильного психотравмирующего стрессового воздействия угрожающего или катастрофического характера (Васильева и др. 2023). В соответствии с мультимодальным характером заболевания современное лечение ПТСР опирается на широкий спектр психотерапевтических и фармакологических средств, которые рассматриваются Всемирной организацией здравоохранения и Международным обществом по изучению травматического стресса (International Society for Traumatic Stress Studies, ISTSS) как методы лечения «первой линии» и применяются в зависимости от клинической картины,

комплаентности¹ и тяжести состояния пациента. При этом наибольшим доверием пользуются методы психотерапии, обладающие длительным терапевтическим эффектом — когнитивно-бихевиоральная терапия, десенсибилизация и переработка движениями глаз (ДПДГ), классический стресс-менеджмент (Казенная, 2020; Можаяева, 2022; Васильева и др., 2023).

В настоящее время эта группа методов дополняется активно развивающимися техниками психофизиологической инструментальной диагностики и нейрореабилитации ПТСР, которые в комплексе с методами «первой линии» повышают эффективность лечения ПТСР. Более того, психофизиологические методы становятся незаменимыми в ситуациях, когда пациенты не доверяют методам конвенциональной медицины, либо в случаях, когда обнаружена нечувствительность к традиционной терапии.

¹ Комплаентность (от англ. patient compliance) — приверженность лечению, степень соответствия между поведением пациента и рекомендациями врача.

Научное обоснование инструментальных методов базируется на результатах исследований, посвященных изучению механизмов ПТСР с помощью современных технологий психофизиологии и нейронаук.

1. Психофизиологические модели механизмов ПТСР

1.1. ПТСР как результат «выученного страха»: роль миндалины, гиппокампа, префронтальной и поясной коры

В когнитивных и психофизиологических моделях ПТСР патогенез ПТСР связывают с нарушением процессов переработки информации и интеграции травматического опыта в автобиографическую память пациента (Biggs, 2017). С этой точки зрения, ПТСР является результатом «выученного страха» (Di Giacinto et al., 2014). Обусловленность страхом — это одна из форм *ассоциативного обучения*, хорошо изученная на поведенческом / нейронном уровнях (Burgos-Robles et al., 2007).

В соответствии с законами ассоциативного обучения, повторные предъявления УС (условного стимула) без безусловного подкрепления приводят к постепенному ослаблению реакций страха вплоть до их полного исчезновения. По-видимому, у пациентов с ПТСР имеются нарушения в механизме угасания реакций, что также может быть одной из причин нарушения эмоциональной регуляции при данном синдроме (Sherin, Nemeroff, 2011). Так, по данным А.Ди Джачинто и др. (Di Giacinto et al., 2014), у пациентов с ПТСР отсутствует привыкание по отношению к периодической центральной и периферической стимуляции нервной системы. Другим примером нарушения (ослабления) механизма негативного обучения у пациентов с ПТСР являются данные исследований мигательного рефлекса на неожиданный громкий звук — «акустического рефлекса испуга» (“Acoustic Stimulus Response”, ASR). Мигательная старт-реакция представляет собой самый ранний компонент комплекса нервных и мышечных реакций организма, образующих механизм защитного рефлекторного вздрагивания (испуга) в ответ на неожиданный стимул. В норме по ходу многократного предъявления старт-стимула (звука) мигательный рефлекс ослабляется (уменьшается амплитуда моргания, увеличивается латентный период). Оказалось, что в отличие от здоровых людей, у пациентов с ПТСР отсутствует привыкание ASR, что указывает на ослабление механизмов адаптации к текущей сенсорной стимуляции. Кроме этого, пациенты с ПТСР демонстрируют более высокие уровни возбуждения ВНС (критерий D5 в DSM-IV) в ответ как на условные (модулирующие, предъявляются перед запуском моргания), так и на безусловные (пусковые: например, резкий звук) стимулы в опытах с регистрацией реакции испуга. Более того, пациенты с ПТСР интерпретируют даже

эмоционально нейтральные раздражители как потенциальную угрозу (Brunetti et al., 2010).

Одним из главных мозговых «центров страха» является *миндалины*, или *амигдала* (*corpus amygdaloideum*), — парная структура мозга, являющаяся частью базальных ганглиев и входящая в состав височного отдела лимбической системы мозга. Активность миндалины связана с обеспечением разных форм оборонительного поведения (затаивание, испуг, агрессия) и формированием (совместно с гиппокампом) следов эмоциональной памяти. Миндалины — это единственная структура мозга, активность которой позволяет «мгновенно» (с одного предъявления) сформировать след долговременной памяти на эмоционально окрашенное событие, связанное с потенциальной угрозой для организма. Экстремальные стрессовые ситуации, приводящие к возникновению ПТСР, являются событиями, максимально задействующими активность миндалины. Согласно данным фМРТ-исследований, реакции миндалины на эмоциональные стимулы обнаруживают высокую корреляцию с другими физиологическими проявлениями ПТСР — увеличением кожной проводимости (КГР) и частоты сердечбиений, увеличением артериального давления, выбросом гормонов стресса (адреналина, кортизола) (Hoffman et al., 2007; Pole, 2007).

В фМРТ-обследованиях пациентов с ПТСР выявлены нарушения в мозговых структурах, связанных с регуляцией эмоций, формированием следов эмоциональной памяти и механизмами страха. У пациентов с ПТСР часто наблюдается уменьшение объема нервной ткани и снижение активации в вентромедиальной префронтальной коре (программирование и контроль поведения) и передней поясной коре (регуляция эмоций и стрессовых реакций), а также повышение активации в миндалине. В совокупности это свидетельствует об ослаблении нисходящих тормозных влияний неокортекса на активность подкорковых структур (Mintie, Stapler, 2018). В МРТ-исследовании Л.М. Шин и др. (Shin et al., 2001) обнаружено, что по сравнению с нормой у ветеранов войны во Вьетнаме с диагнозом ПТСР снижены объем и активность передней части поясной извилины. В исследованиях близнецов обнаружена отрицательная корреляция между тяжестью симптомов ПТСР и объемом гиппокампа, взаимодействие которого с миндалиной лежит в основе запоминания эмоционально окрашенной информации (в том числе травматической) (Mintie, Stapler, 2018).

1.2. Особенности функционирования «гипоталамо-адреналовой оси стресса» при ПТСР

Острые стрессовые реакции в составе ПТСР являются нормальным ответом организма на однократные или регулярно повторяющиеся чрезвычайные воздействия. Из-за дефицита ресурсов адаптации естественный ответ на стресс принимает патологический характер. В частности, чрезмерно активируются *нейроэндокринная гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая и симпатoadреналовая системы*, что

приводит к манифестации симптомов ПТСР, понижению порогов для реакций тревоги (страха), физиологическому перевозбуждению (Cool, Zappetti, 2019; Сапольски, 2020). Изменения в активности нейронных сетей гиппокампа, миндалины и префронтальной коры, вызываемые повышенной и устойчиво сохраняющейся в крови концентрацией гормона стресса кортизола (глюкокортикоида коры надпочечников), могут объяснять такие признаки ПТСР, как устойчивость следов эмоциональной памяти на травмирующее событие и высокую степень коморбидности — наличие сопутствующих синдрому психических расстройств (биполярно-депрессивное расстройство 2 типа, тревожные расстройства, аддикции) (Lupien et al., 2007; Sarro et al., 2014; Lajud, Torner, 2015; McEwen et al., 2016). Еще одной причиной формирования устойчивого «гиперглюкокортизолизма» при ПТСР является нарушение (десинхронизация) мозговой системы регуляции циркадианных ритмов организма (биологических часов), серотонин-мелатониновая гормональная активность которой в норме ограничивает действия кортизола (Kino, Chrousos, 2011).

Вызванные травмой нарушения гипоталамо-адренальной системы могут сохраняться в течение многих лет. Так, в работе Р. Лоутон и др. (Lawton et al., 2023) приводятся данные о сохранности субъективных и объективных (пониженный уровень кортизола) симптомов ПТСР у людей, переживших тяжелый стресс 14 лет назад (цунами в Индийском океане).

2. Психофизиологические подходы к диагностике ПТСР

2.1. Периферические биомаркеры ПТСР

Результаты поиска возможностей использовать параметры активности периферической (вегетативной) нервной системы (ВНС) в качестве биомаркеров ПТСР являются немногочисленными и противоречивыми. В некоторых работах показано, что по сравнению с контрольной группой пациенты с ПТСР демонстрируют повышенную частоту сердечных сокращений (ЧСС) как в состоянии покоя, так и при эмоциональных воздействиях (особенно в состоянии испуга). Ряд авторов связывают ПТСР с низкой вариабельностью сердечного ритма (Ge et al., 2020; Sadeghi et al., 2020; Sakmak et al., 2021). Несмотря на некоторые расхождения в вопросе об ЭКГ-параметрах ПТСР, большинство авторов в качестве основного биомаркера ПТСР чаще всего используют повышенный уровень ЧСС.

У пациентов с ПТСР в состоянии испуга наблюдается также повышенная электропроводимость кожи в сочетании с ее очень медленным снижением от пробы к пробе. Однако в исследовании Т. Йовановик и др. (Jovanovic et al., 2009) такие изменения в параметрах кожно-гальванической реакции (КГР) не обнаружены, а в качестве характерного признака ПТСР рассматривается пониженный уровень рит-

мии дыхательного синуса по сравнению с контрольной группой.

В работе А.Ди Джачинто и др. (Di Giacinto et al., 2014) представлены результаты пилотных исследований особенностей активности ВНС у пациентов с ПТСР (жертв ограблений банков) с помощью комбинации методов регистрации КГР и функциональной инфракрасной термографии (ИКТ) высокого разрешения. В экспериментах с выработкой условного оборонительного рефлекса на изображение лица (УС — условный стимул), сопровождаемое неожиданным громким звуком (БС — безусловный стимул), регистрировались тонический компонент КГР и изменения температуры в области кончика носа. Авторы обнаружили, что в экспериментах с «обучением страху» пациенты со слабо выраженными симптомами ПТСР и здоровые испытуемые демонстрировали сходные изменения КГР и ИКТ за одним важным исключением: значения кожной проводимости и температуры кончика носа у пациентов с ПТСР значительно отличались от таковых у здоровых людей большим разбросом (дисперсией) как в фазу выработки рефлекса, так и во время его последующих воспроизведений. Кроме того, длительность периода сохранности рефлекса у пациентов с ПТСР заметно превышала таковую у представителей группы нормы. Эти данные, свидетельствующие об устойчиво высоком уровне возбуждения (тонуса) ВНС у людей даже с легкими формами ПТСР, могут послужить в перспективе основой для разработки психофизиологического метода ранней диагностики заболевания.

Несмотря на то, что методы ИКТ в последние годы активно развиваются (Di Giacinto et al., 2014; Balters et al., 2021), их использованию пока препятствуют ограничения на условия измерений, которые частично снимаются, если комбинировать результаты ИКТ, получаемые в области лица и пальцев рук (Resendiz-Ochoa et al., 2021).

Резюмируя итоги поиска периферических биомаркеров ПТСР, следует отметить, что объективной причиной не очень большой популярности и эффективности этого направления исследований в клинической психофизиологии является высокая степень неспецифичности и полифункциональности ВНС. В этой связи объектом исследований, связанных с разработкой психофизиологических экспертных систем для объективной диагностики ПТСР, находится мозг, специфические изменения активности которого напрямую связывают с психологическими манифестациями при этом синдроме.

2.2. Электроэнцефалографические (ЭЭГ) маркеры ПТСР

В исследованиях суммарной электрической активности мозга выделяют несколько разных ЭЭГ-маркеров ПТСР.

Ряд авторов полагает, что самым надежным ЭЭГ-индикатором ПТСР является такой широко используемый в нейропсихологии психических расстройств показатель, как *межполушарная асимметрия*

ритмической активности мозга (Cowdin et al., 2014). Одним из наиболее часто анализируемых здесь параметров является межполушарная асимметрия мощности альфа-ритма (8–12 Гц) в лобных долях в состоянии покоя и при активной когнитивной нагрузке (Gordon et al., 2010). Показано, что такая асимметрия, слабее выраженная в состоянии покоя, тесно коррелирует с психоэмоциональным состоянием человека. В частности, преобладание мощности альфа-ритма в левом полушарии над мощностью альфа-ритма в правом ассоциируется с более низким уровнем тревожности и депрессии. Обратное соотношение, наблюдаемое во время предъявления материалов, связанных с травмирующим событием, является одним из характерных признаков ПТСР.

Другим параметром ЭЭГ, претендующим на роль ЭЭГ-маркера ПТСР, является специфическое для пациентов с ПТСР соотношение мощности разных ритмов мозга, то есть «спектральный паттерн (профиль)» ЭЭГ, в состояниях бодрствования и сна (Imperatori et al., 2014).

Данные спектрального анализа ЭЭГ пациентов с ПТСР свидетельствуют о повышенной, по сравнению с нормой, мощности тета-ритма (4–8 Гц) в теменных и лобных долях (Imperatori et al., 2014), а также в центральных (С) и затылочных (О1) отведениях. Наряду с этим имеются данные, свидетельствующие о ненадежности изменений мощности тета-ритма как биомаркера ПТСР.

В ряде работ отмечены характерные для пациентов с ПТСР изменения выраженности альфа-ритма и бета-ритма (13–35 Гц). У пациентов — ветеранов боевых действий с ПТСР в ЭЭГ покоя обнаружено снижение мощности альфа-ритма в узком частотном диапазоне 7,5–9,5 Гц, а также повышение мощности бета-ритма в диапазонах 13,5–18 и 20–32 Гц. Снижение мощности альфа-ритма у пациентов связывают с различными симптомами ПТСР, особенно с хроническим гипервозбуждением (Clancy et al., 2020; Nicholson et al., 2020). При ПТСР снижение альфа-ритма в состоянии покоя в основном наблюдается в медиальной префронтальной коре и задней поясной коре (Clancy et al., 2020). При этом изменения альфа-ритма оказались информативными для выявления собственно самого факта наличия ПТСР, а изменения бета-ритма — информативными для определения степени выраженности синдрома (выделения подтипов ПТСР).

Результаты многочисленных сомнологических исследований сильно разнятся, но в целом свидетельствует о наличии связи между ПТСР и ритмической активностью мозга во сне (Schenker et al., 2023). В литературе представлены данные о таких характерных особенностях ритмов мозга во сне у пациентов с ПТСР, как снижение мощности бета-ритма в фазе быстрого сна; повышение мощности гамма-ритма (35 Гц и выше) в лобных долях во время быстрого сна; снижение активности мозга в тета-диапазоне, преимущественно в височно-теменной и правой префрон-

тальной областях коры. В исследовании С. Ванг и др. (Wang et al., 2020) предложены два сомнологических ЭЭГ-маркера для диагностики ПТСР: 1) снижение мощности дельта-волн (1–4 Гц) в центрально-теменных областях мозга, свидетельствующее о редукции глубины (качества) медленного сна; 2) повышение мощности гамма-волн (30–40 Гц) в префронтальных областях мозга, свидетельствующее о повышенном уровне возбуждения ЦНС.

Перспективные направления поиска ЭЭГ-маркеров ПТСР связаны с использованием таких показателей суммарной активности мозга, как энтропия, общая мощность электрической активности мозга и ее внутренняя согласованность (функциональная связность) (Imperatori et al., 2014).

3. Психофизиологические методы реабилитации больных с ПТСР

Современное лечение ПТСР включает в себя широкий спектр психотерапевтических и фармакотерапевтических средств, которые рассматриваются Американской психиатрической ассоциацией (American Psychological Association, APA) и Международным обществом по изучению травматического стресса (International Society for Traumatic Stress Studies, ISTSS) как эквивалентные методы лечения «первой линии» и применяются в зависимости от клинической картины, комплаентности и тяжести состояния пациента:

3.1. Реабилитация пациентов с ПТСР с помощью методов нейробиоуправления

В настоящее время самыми перспективными и наиболее активно разрабатываемыми инструментальными методами психофизиологической реабилитации пациентов с ПТСР являются методы нейробиоуправления, основанные на использовании в качестве сигналов обратной связи параметров ЭЭГ, ЭКГ, КГР, дыхания и электромиограммы (ЭМГ). Сигналы обратной связи позволяют пациенту в режиме реального времени получать информацию о своем психоэмоциональном состоянии и отрабатывать навыки управления им. Такой нейротренинг (НТ) способствует восстановлению (повышению) эффективности нарушенных при ПТСР процессов саморегуляции.

В ряде исследований сообщается о положительном эффекте использования методов НТ для коррекции психоэмоциональных нарушений при ПТСР (Leem et al., 2020; Panisch, Hai, 2020; Steingrimsson et al., 2020). В частности, показано, что протоколы НТ, направленные на коррекцию мощности альфа-ритма ЭЭГ, эффективно снижают количество симптомов ПТСР (du Bois et al., 2021; Micoulaud-Franchi et al., 2021). Одним из самых популярных параметров, используемых в НТ, является вариабельность сердечного ритма (ВСР). После серии сеансов нейротренинга с биоуправлением по параметрам ВСР наблюдается значительное снижение количества симптомов ПТСР, и этот эффект сохраняется несколько месяцев

(Schuman, Killian, 2019). Тем не менее эффективность НТ по показателям ВСР не превышает таковую психологических методов реабилитации ПТСР. Однако сочетание этих методов в рамках комплексных психофизиологических программ реабилитации может повышать эффективность лечения ПТСР (Edinoff et al., 2022). Рядом авторов отмечается особая актуальность нейротерапии для случаев, когда пациентам с ПТСР не помогают стандартные психолого-психиатрические методы лечения (Nicholson et al., 2020; Rogel et al., 2020). Кроме этого, сеансы НТ приводят к снижению уровня депрессии, часто возникающей у пациентов с ПТСР.

3.2. Реабилитация пациентов с ПТСР с помощью адаптивных нейроинтерфейсов

Отдельным направлением в области нейротерапии ПТСР является разработка методов «адаптивной нейростимуляции» (Федотчев, 2022). Суть подхода к коррекции стресс-индуцированных состояний состоит в создании аппаратно-программных комплексов (нейроинтерфейсов) для онлайн-модуляции предъявляемой пациенту сенсорной стимуляции (зрительной, слуховой, тактильной, электрической) с помощью сигналов обратной связи о его собственных физиологических ритмах дыхания, сердцебиений и/или ЭЭГ. Так, С. Ченг и др. (Cheung et al., 2016) с целью коррекции состояний тревоги и стресса у детей создал аудио-нейроинтерфейс «биомузыка», позволявший трансформировать показатели КГР, значения температуры кожи, частоту сердцебиений и ритм дыхания в такие характеристики музыкаподобной стимуляции, как, соответственно, мелодия, тональность, звуки барабана и ритмические акустические сигналы. В ряде исследований теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность такой активной самонастройки параметров стимуляции для восстановления (повышения) адаптивных возможностей организма и коррекции широкого спектра стрессовых расстройств, включая ПТСР (Федотчев, 2022; Fleming et al., 2020). В работе К.Л. Тегелер и др. (Tegeler et al., 2020) для коррекции ПТСР использовался метод HIRREM ('High-resolution, relational, resonance-based, electroencephalic mirroring'): доминирующие ритмы ЭЭГ пациента трансформировались в акустические сигналы (звуковые тоны), которые в свою очередь — по петле обратной связи (через слуховую систему) — влияли на спектральный состав ЭЭГ, а тот снова трансформировался в аудио-сигналы, замыкая петлю биоуправления ('a closed-loop'). Повторяющиеся серии таких «отзеркаливаний» (mirroring) приводили к клинически значимой редукции симптомов ПТСР, которая характеризовалась улучшением субъективных показателей самочувствия, увеличением вариабельности сердечного ритма (дисперсии распределения RR-интервалов в ЭКГ), повышением чувствительности барорефлекса и уменьшением межполушарной асимметрии в распределении высокочастотных бета- и гамма-ритмов в височных долях мозга.

При всех достоинствах у методов нейрореабилитации ПТСР имеется ряд ограничений, связанных с необходимостью проведения большого числа сеансов, с трудностями выработки навыков произвольной саморегуляции и, как следствие, с проблемой поддержания на должном уровне интереса (мотивации) к обучению.

3.3. Коррекция нарушений при ПТСР с помощью методов транскраниальной электрической стимуляции (ТЭС), транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) и стимуляции глубинных структур мозга ('Deep Brain Stimulation', DBS)

Методы ТМС и ТЭС — это неинвазивные методы стимуляции мозга, которые обладают небольшим числом слабых побочных эффектов и используются в комбинации с другими техниками лечения ПТСР, а также в случаях, когда методы психо- и фармакотерапии неэффективны².

Метод ТМС, базирующийся на явлении электромагнитной индукции, позволяет избирательно воздействовать на отдельные участки коры мозга. В клинических исследованиях с применением ТМС обнаружено, что наиболее эффективными для коррекции симптомов ПТСР и большого депрессивного расстройства являются области неокортекста, входящие в состав дефолтной (правая дорсолатеральная префронтальная кора, медиальная префронтальная кора) и центральной исполнительской (левая дорсолатеральная префронтальная кора) нейросетей мозга (Belsher et al., 2021; Edinoff et al., 2022).

В работах с применением ТЭС показано, что билатеральная стимуляция дорсолатеральных зон префронтальной коры мозга импульсами постоянного тока разной амплитуды, частоты и длительности приводит к улучшению рабочей памяти и клинически достоверному ослаблению таких симптомов ПТСР, как повышенное нервное возбуждение, депрессия, спонтанные приступы тревоги и страха (Gouveia et al., 2020). Кроме этого, восстанавливались до нормы нарушенные при ПТСР амплитудно-временные и частотные свойства КВП и альфа-ритма.

К настоящему времени мы обнаружили только одну работу, в которой представлена попытка использовать метод DBS для лечения ПТСР (Langevin et al., 2016). Электроды вживлялись билатерально в базолатеральные ядра миндалины пациента — ветерана боевых действий, который оказался нечувствительным к стандартным методам терапии. После 8-месячной серии сеансов с высокочастотной (160 Гц) электро-стимуляцией (подавлением активности миндалины) зафиксировано 37,8% улучшение состояния пациента, оцениваемое по «Шкале для клинической диагностики ПТСР» (Clinical-administered PTSD Scale, CAPS) — 119 баллов до DBS и 74 после (без побочных эффектов). Выбор миндалины в качестве мишени для DBS связан с её крайне высокой активностью при ПТСР,

² Примерно 30% пациентов с ПТСР нечувствительны к процедурам психо- и фармакотерапии и характеризуются повышенной склонностью к суициду (Edinoff et al., 2022).

являющейся результатом снижения тормозных влияний со стороны вентромедиальной префронтальной коры. Перед проведением экспериментов с участием 48-летнего ветерана авторы этого исследования провели аналогичные испытания в опытах на крысах, у которых с помощью хронических стрессовых воздействий вызывали синдром, сходный по симптоматике с ПТСР у человека (Koek et al., 2014). И хотя у метода DBS нет перспектив для широкого внедрения в клиническую практику, результаты «кэйс-стади» с его применением могут быть использованы для совершенствования неинвазивных технологий коррекции ПТСР — уточнения мозговых зон и параметров лечебного воздействия на них со стороны методов нейро- и фармакотерапии.

3.4. Реабилитация пациентов с ПТСР с помощью методов психофармакотерапии

Главная цель психофармакотерапии ПТСР — это редукция депрессивных состояний, ослабление проявлений обсессивного синдрома и улучшение качества сна (борьба с кошмарами). Основными мишенями для применяемых с этой целью психоактивных соединений являются серотонин- и норадренергическая системы мозга, играющие ключевую роль в механизмах психоэмоциональных состояний. Для поддержания активности этих медиаторных систем используются селективные ингибиторы обратного захвата серотонина (СИОЗС) и ингибиторы обратного захвата серотонина и норадреналина. Однако эффективность этих блокаторов не очень высока. Так, при использовании СИОЗС (препаратов «первой линии») полная ремиссия достигается только у 20–30% пациентов. По данным плацебо-контролируемых исследований, наиболее эффективными для лечения ПТСР являются антидепрессанты (пароксетин, сертралин, нефазодон), анксиолитики-транквилизаторы (буспирон), нейролептики (рисперидон, оланзапин), гипотензивные альфа1-адренергические блокаторы (празозин) (Edinoff et al., 2022; Vandelow et al., 2022). Все эти препараты вызывают значительное уменьшение симптомов ПТСР, оцениваемое с помощью шкал ПТСР (в редакциях DSM-4 / DSM-5) и шкалы депрессии Бека.

В последние 10 лет активно разрабатывается новый оригинальный метод фармакотерапии ПТСР, основанный на данных современной нейронауки о молекулярных механизмах памяти (Кандель, 2023; Моог, 2022). Речь идет о феномене «реконсолидации», суть которого состоит в том, что при каждой новой актуализации след памяти вновь «перезаписывается» на основе тех же внутриклеточных молекулярно-генетических механизмов, что и при первичной консолидации (Александров, 2022). Многократная активация и перезапись информации в новых условиях сопровождается постепенной деформацией исходной версии следа памяти. Впервые внимание на то, что реактуализация памяти является активным процессом перезаписи энграмм, обратили внимание и экспериментально проиллюстрировали З. Фрейд и

Ф. Бартлетт³. С учетом этого феномена З. Фрейд начал работать над новой теорией памяти, согласно которой память — это не что-то навсегда закрепленное, а меняющееся при каждом извлечении (теория ретранскрипции). Явление ретранскрипции открывает перед клиницистами возможность для разрушения травмирующих следов памяти путем воздействия на процесс реконсолидации. Этот процесс затрагивает активацию каскада т.н. «ранних» и «поздних» генов в нейронах, образующих механизм долговременной памяти (Кандель, 2023). Эффективность активации ДНК во время ретранскрипции существенно снижается при понижении уровня электрической активности нейронов. Все эти данные о внутриклеточных механизмах памяти послужили основой для создания новой технологии лечения ПТСР, суть которой состоит в проведении сеансов экспозиционной терапии на фоне приема фармпрепаратов, которые создают неоптимальные условия для реконсолидации следов памяти о травме и в итоге приводят к их разрушению. В опытах на животных и экспериментах с участием людей-добровольцев (ветеранов «Бури в пустыне») установлено, что наиболее эффективным средством для фармакотерапии ПТСР является гипотензивный препарат пропранолол — антагонист бета-адренорецепторов, который редуцирует общий уровень нейронной активности мозга, ослабляет связи симпатической нервной системы с миндалиной и смягчает эмоциональные реакции (Сапольски, 2020; Александров, 2022; Lonergan et al., 2013). Другим приемом лечения ПТСР, базирующимся на феномене «ретранскрипции», является поведенческая терапия — угашение следа памяти путем многократной экспозиции травмирующей информации в «окне реконсолидации».

Заключение

Современные средства диагностики и лечения ПТСР пополняются активно разрабатываемыми инструментальными методами клинической психофизиологии, которые в комбинации с методами «первой линии» (психо- и фармакотерапия) повышают эффективность лечения ПТСР. Более того, психофизиологические методы становятся незаменимыми в ситуациях, когда пациенты не доверяют методам конвенциональной медицины или обнаруживают нечувствительность к традиционной терапии. В этих же случаях клиницисты прибегают к использованию техник комплементарной (интегративной) и альтернативной медицины.

Перспективные направления поиска ЭЭГ-маркеров ПТСР связаны с использованием таких показателей,

³ Зигмунд Фрейд (1856–1939) — австрийский психоаналитик, психиатр и невролог.

Сэр Фредерик Чарлз Бартлетт (1886–1969) — британский психолог, один из основателей современной когнитивной психологии.

как ритмы ЭЭГ и параметры нейросетевой активности мозга (энтропия, функциональная связность), анализируемые с помощью алгоритмов машинного обучения (Rountree-Harrison et al., 2023).

Информативность периферических индикаторов ПТСР (КГР, ЧСС, ИКТ) ограничена их неспецифичностью и полифункциональностью. Одной из перспектив повышения надежности этих индикаторов является объединение их в комплексы и построение на этой основе интегративных показателей ПТСР.

В области реабилитации пациентов с ПТСР самыми перспективными и наиболее активно разрабатываемыми психофизиологическими техниками являются методы нейробиоуправления и адаптивной нейростимуляции (нейроинтерфейсов). При всех достоинствах у методов нейрореабилитации ПТСР имеется ряд ограничений, связанных с необходимостью проведения большого числа сеансов, с трудностями выработки навыков произвольной саморегуляции и поддержания на должном уровне интереса (мотивации) к обучению.

Современные исследования возможностей ТМС и ТЭС для лечения ПТСР носят пилотный характер. Перспективы клинического применения этих методов связаны с необходимостью уточнения параметров стимуляции и зон для воздействия с учетом гетерогенной природы психофизиологических механизмов ПТСР.

Перспективным направлением нейрореабилитации ПТСР является использование данных о молекулярных механизмах памяти (явления ретранскрипции) в качестве основы для создания новой технологии лечения ПТСР, суть которой состоит в проведении сеансов экспозиционной терапии на фоне приема фармакопрепаратов, нарушающих процесс реконсолидации следов памяти о травме и, как следствие, способствующих их разрушению.

В настоящее время продолжается активное изучение вклада генетических факторов в этиологию ПТСР. Результаты психогенетических исследований указывают на полигенный характер фенотипа ПТСР. По данным близнецовых исследований, на долю генетических механизмов ПТСР приходится 30–70% от «общей уязвимости» к развитию синдрома (Edinoff et al., 2022). При этом одни и те же гены отвечают и за предрасположенность индивида к другим коморбидно связанным с ПТСР психологическим расстройствам. Вопрос о соотношении генетических и средовых факторов остается открытым.

Список симптомов ПТСР и критерии их верификации постоянно уточняются, на основе чего редактируются концептуальные модели и алгоритмы лечения синдрома (Казенная, 2020; Васильева и др., 2023). Результаты психофизиологических исследований являются важной частью этого процесса.

Список литературы

- Александров, Ю.И. (2022). *Психофизиология*. Санкт-Петербург: Изд-во «Питер».
- Васильева, А.В., Караваева, Т.А., Радионов, Д.С., Старунская, Д.А. (2023). Алгоритм диагностики посттравматического стрессового расстройства. *Обзор психиатрии и медицинской психологии им. В.М. Бехтерева*, 57(1), 83–95. <https://doi.org/10.31363/2313-7053-2023-741>
- Казенная, Е.В. (2020). Современные зарубежные исследования посттравматического стрессового расстройства и его лечения эффективными психотерапевтическими методами у взрослых. *Современная зарубежная психология*, 9(4), 110–119. <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090410>
- Кандель, Э. (2023). *В поисках памяти*. Москва: Изд-во «Элементы».
- Можаева, Е. (2022). Какая психотерапия эффективнее при ПТСР? *Консультативная психология и психотерапия*, 30(2), 167–171. <https://doi.org/10.17759/cpp.2022300211>
- Сапольски, Р. (2020). *Психология стресса*. Санкт-Петербург: Изд-во «Питер».
- Федотчев, А.И. (2022). Коррекция стресс-индуцированных состояний сенсорными воздействиями, автоматически модулируемыми эндогенными ритмами человека. *Журнал высшей нервной деятельности имени И.П. Павлова*, 72(1), 3–10.
- Balters, S., Li, R., Espil, F.M., Piccirilli, A., Liu, N., Gundran, A., Carrion, V.G., Weems, C.F., Cohen, J.A., Reiss, A.L. (2021). Functional Near-Infrared Spectroscopy Brain Imaging Predicts Symptom Severity in Youth Exposed to Traumatic Stress. *Journal of Psychiatric Research*, (144), 494–502. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2021.10.020>
- Bandelow, B., Allgulander, C., Baldwin, D.S., Costa, D.L.D.C., Denys, D., Dilbaz, N., Domschke, K., Eriksson, E., Fineberg, N.A., Hättenschwiler, J., Hollander, E., Kasper, S., Möller, H.-J., Eriksson, E., Fineberg, N.A., Hättenschwiler, J., Kaiya, H., Karavaeva, T., Katzman, M.A., Kim, Yu.K., Inoue, T., Lim, L., Masdrakis, V., Menchón, J.M., Miguel, E.C., Nardi, A.E., Pallanti, S., Perna, G., Rujescu, D., Starcevic, V., Stein, D.J., Tsai, S.-J., Ameringen, M.V., Vasileva, A., Wang, Z., Zohar, J. (2022). World Federation of Societies of Biological Psychiatry (WFSBP) Guidelines for Treatment of Anxiety, Obsessive-Compulsive and Posttraumatic Stress Disorders — Version 3. Part II: OCD and PTSD. *The World Journal of Biological Psychiatry*, 24(2), 118–134. <https://doi.org/10.1080/15622975.2022.2086296>
- Belsher, B.E., Beech, E.H., Reddy, M.K., Smolenski, D.J., Rauch, S.A., Kelber, M., Issa, F., Lewis, C., Bisson, J.I. (2021). Advances in Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for Posttraumatic Stress Disorder: A systematic review. *Journal of Psychiatric Research*, (138), 598–606. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2021.05.011>
- Biggs, A., Brough, P., Drummond, S. (2017). Lazarus and Folkman's Psychological Stress and Coping Theory. *The Handbook of Stress and Health*. Hoboken: Wiley-Blackwell Publ.
- Brewin, C.R., Rose, S., Andrews, B., Green, J., Tata, P., McEvedy, C., Turner, S., Foa, E.B. (2002). Brief Screening Instrument for Post-Traumatic Stress Disorder. *British Journal of Psychiatry*, 181(3), 158–162. <https://doi.org/10.1192/bjp.181.2.158>

- Brunetti, M., Sepede, G., Mingoia, G., Catani, C., Ferretti, A., Merla, A., Del Gratta, C., Romani, G.L., Babiloni, C. (2010). Elevated Response of Human Amygdala to Neutral Stimuli in Mild Posttraumatic Stress Disorder: Neural correlates of generalized emotional response. *Neuroscience*, 168(3), 670–679. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2010.04.024>
- Burgos-Robles, A., Vidal-Gonzalez, I., Santini, E., Quirk, G.J. (2007). Consolidation of Fear Extinction Requires NMDA Receptor Dependent Bursting in the Ventromedial Prefrontal Cortex. *Neuron*, 53(6), 871–880. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.02.021>
- Cakmak, A.S., Alday, E.A.P., Da Poian, G., Rad, A.B., Metzler, T.J., Neylan, T.C., House, S.L., Beaudoin, F.L., An, X., Stevens, J.S., Zeng, D., Linnstaedt, S.D., Jovanovic, T., Germine, L.T., Bollen, K.A., Rauch, S.L., Lewandowski, C.A., Hendry, P.L., Sheikh, S., Storrow, A.B., Musey, P.I., Haran, J.P., Jones, C.W., Panches, B.E., Swor, R.A., Gentile, N.T., McGrath, M.E., Seamon, M.J., Mohiuddin, K., Chang, A.M., Pearson, C., Domeier, R.M., Bruce, S.E., O'Neil, B.J., Rathlev, N.K., Sanchez, L.D., Pietrzak, R.H., Joormann, J., Barch, D.M., Pizzagalli, D.A., Harte, S.E., Elliott, J.M., Kessler, R.C., Koenen, K.C., Ressler, K.J., Mclean, S.A., Li, Q., Clifford, G.D. (2021). Classification and Prediction of Post-Trauma Outcomes Related to Ptsd Using Circadian Rhythm Changes Measured via Wrist-Worn Research Watch in a Large Longitudinal Cohort. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 25(8), 2866–2876. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2021.3053909>
- Cheung, S., Han, E., Kushki, A., Anagnostou, E., Biddiss, E. (2016). Biomusic: An Auditory Interface for Detecting Physiological Indicators of Anxiety in Children. *Frontiers in Neuroscience*, (10), 401. <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00401>
- Clancy, K.J., Andrzejewski, J.A., Simon, J., Ding, M., Schmidt, N.B., Li, W. (2020). Posttraumatic Stress Disorder is Associated with a Dysrhythmia Across the Visual Cortex and the Default Mode Network. *eNeuro*, 7(4), 1–12. <https://doi.org/10.1523/EN-EURO.0053-20.2020>
- Cloitre, M., Brewin, C.R., Kazlauskas, E., Lueger-Schuster, B., Karatzias, T., Hyland, P., Shevlin, M. (2021). Commentary: The need for research on PTSD in children and adolescents. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 62(3), 277–279. <https://doi.org/10.1111/jcpp.13361>
- Cool, J., Zappetti, D. (2019). The Physiology of Stress. Medical Student Well-Being: An essential guide. Cham: Springer Publ.
- Di Giacinto, A., Brunetti, M., Sepede, G., Ferretti, A., Merla, A. (2014). Thermal Signature of Fear Conditioning in Mild Posttraumatic Stress Disorder. *Neuroscience*, (266), 216–223. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2014.02.009>
- Cowdin, N., Kobayashi, I., Mellman, T.A. (2014). Theta Frequency Activity During Rapid Eye Movement (REM) Sleep is Greater in People with Resilience Versus PTSD. *Experimental Brain Research*, 232(5), 1479–1485. <https://doi.org/10.1007/s00221-014-3857-5>
- DSM-5: “Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5th Ed., Text Revision (DSM-5-TR™)”. (2022).
- Du Bois, N., Bigirimana, A.D., Korik, A., Kéthina, L.G., Rutembesa, E., Mutabaruka, J., Mutesa, L., Prasad, G., Jansen, S., Coyle, D.H. (2021). Neurofeedback with Low-Cost, Wearable Electroencephalography (EEG) Reduces Symptoms in Chronic Post-Traumatic Stress Disorder. *Journal of Affective Disorders*, (295), 1319–1334. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2021.08.071>
- Edinoff, A.N., Hegefelf, T.L., Petersen, M., Patterson, J.C., Yossi, C., Slizewski, J., Osumi, A., Cornett, E.M., Kaye, A., Kaye, J.S., Javalkar, V., Viswanath, O., Urits, I., Kaye, A.D. (2022). Transcranial Magnetic Stimulation for Post-Traumatic Stress Disorder. *Frontiers in Psychiatry*, (13), 701348. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2022.701348>
- Fleming, J.E., Orlowski, J., Lowery, M.M., Chaillet, A. (2020). Self-Tuning Deep Brain Stimulation Controller for Suppression of Beta Oscillations: Analytical derivation and numerical validation. *Frontiers in Neuroscience*, (14), 639. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00639>
- Ge, F., Yuan, M., Li, Y., Zhang, W. (2020). Posttraumatic Stress Disorder and Alterations in Resting Heart Rate Variability: A systematic review and meta-analysis. *Psychiatry Investigation*, 17(1), 9–20. <https://doi.org/10.30773/pi.2019.0112%0APrint>
- Gordon, E., Palmer, D.M., Cooper, N. (2010). EEG Alpha Asymmetry in Schizophrenia, Depression, PTSD, Panic Disorder, ADHD and Conduct Disorder. *Clinical EEG and Neuroscience*, 41(4), 178–183. <https://doi.org/10.1177/155005941004100>
- Gouveia, F.V., Davidson, B., Meng, Y., Gidyk, D.C., Rabin, J.S., Ng, E., Abrahao, A., Lipsman, N., Giacobbe, P., Hamani, C. (2020). Treating Post-traumatic Stress Disorder with Neuromodulation Therapies: Transcranial Magnetic Stimulation, Transcranial Direct Current Stimulation, and Deep Brain Stimulation. *Neurotherapeutics*, 17(4), 1747–1756. <https://doi.org/10.1007/s13311-020-00871-0>
- Hoffman, K.L., Gothard, K.M., Schmid, M.C., Logothetis, N.K. (2007). Facialexpression and Gaze-Selective Responses in the Monkey Amygdala. *Current Biology*, (17), 766–772. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.03.040>
- Imperatori, C., Farina, B., Quintiliani, M.I., Onofri, A., Gattinara, P.C., Lepore, M., Gnoni, V., Mazzucchi, E., Contardi, A., Della Marca, G. (2014). Aberrant EEG Functional Connectivity and EEG Power Spectra in Resting State Post-Traumatic Stress Disorder: A sLORETA study. *Biological Psychology*, (102), 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.07.011>
- Jovanovic, T., Norrholm, S.D., Sakoman, A.J., Esterajher, S., Kozarić-Kovačić, D. (2009). Altered Resting Psychophysiology and Startle Response in Croatian Combat Veterans with PTSD. *International Journal of Psychophysiology*, 71(3), 264–268. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.10.007>
- Koek, R.J., Langevin, J.P., Krahl, S.E., Schwartz, H.N. (2014). Deep Brain Stimulation of the Basolateral Amygdala for Treatment-refractory Combat Post-traumatic Stress Disorder (PTSD): Study protocol for a pilot randomized controlled trial with blinded, staggered onset of stimulation. *Trials*, (15), 1–25. <https://doi.org/10.1186/1745-6215-15-356>
- Kino, T., Chrousos, G.P. (2011). Circadian CLOCK-Mediated Regulation of Target-Tissue Sensitivity to Glucocorticoids: Implications for cardiometabolic diseases. *Endocrine Development*, (20), 116–126. <https://doi.org/10.1159/000321232>
- Lajud, N., Torner, L. (2014). Early Life Stress and Hippocampal Neurogenesis in the Neonate: Sexual dimorphism, long term consequences and possible mediators. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 8(3), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2015.00003>
- Langevin, J.P., Koek, R.J., Schwartz, H.N., Chen, J.W., Sultzner, D.L., Mandelkern, M.A., Kulick, A.D., Krahl, S.E. (2016). Deep Brain Stimulation of the Basolateral Amygdala for Treatment Refractory Posttraumatic Stress Disorder. *Biological Psychiatry*, (79), 82–84. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2015.09.003>
- Lawton, R., Frankenberg, E., Seeman, T., Crimmins, E., Sumantri, C., Thomas, D. (2023). Exposure to the Indian Ocean Tsunami Shapes the HPA-Axis Resulting in HPA “Burnout” 14 Years Later. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(44), 1–7. <https://doi.org/10.1073/pnas.2306497120>
- Leem, J., Cheong, M.J., Yoon, S.H., Kim, H., Jo, H.G., Lee, H., Kim, J., Kim, H.Y., Kim, G.W., Kang, H.W. (2020). Neurofeedback Self-Regulating Training in Patients with Post Traumatic Stress Disorder: A randomized controlled trial study protocol. *Integrative Medicine Research*, 9(4), 100464. <https://doi.org/10.1016/j.imr.2020.100464>
- Loneragan, M.H., Olivera-Figueroa, L.A., Pitman, R.K., Brunet, A. (2013). Propranolol's Effects on the Consolidation and Recon-

- solidation of Long-Term Emotional Memory in Healthy Participants: A meta-analysis. *Journal of Psychiatry and Neuroscience*, 38(4), 222–231. <https://doi.org/10.1007/s00221-014-3857-5>
- Lupien, S.J., Maheu, F., Tu, T., Fiocco, A., Schramek, T.E. (2007). The Effects of Stress and Stress Hormones on Human Cognition: Implications for the field of brain and cognition. *Brain and Cognition*, (65), 209–237. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.02.007>
- McEwen, B.S., Nasca, C., Gray, J.D. (2016). Stress Effects on Neuronal Structure: Hippocampus, Amygdala, and Prefrontal Cortex. *Neuropsychopharmacology Reviews*, (41), 3–23. <https://doi.org/10.1038/npp.2015.171>
- Micoulaud-Franchi, J.A., Jeunet, C., Pelissolo, A., Ros, T. (2021). EEG Neurofeedback for Anxiety Disorders and Post-Traumatic Stress Disorders: A blueprint for a promising brain-based therapy. *Current psychiatry reports*, (23), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11920-021-01299-9>
- Mintie, D., Staples, J.K. (2018). *Reclaiming Life after Trauma: Healing PTSD with Cognitive-Behavioral Therapy and Yoga*. New-York: Simon and Schuster Publ.
- Moore, A.R. (2022). Genetic, Epigenetic, and Epitranscriptomic Mechanisms Associated with Learning and Memory. *Frontiers in Genetics*, 12, 835719. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.835719>
- Nicholson, A.A., Ros, T., Jetly, R., Lanius, R.A. (2020). Regulating Posttraumatic Stress Disorder Symptoms with Neurofeedback: Regaining control of the mind. *Journal of Military, Veteran and Family Health*, 6(S1), 3–15. <https://doi.org/10.3138/jmvfh.2019-0032>
- Panisch, L.S., Hai, A.H. (2020). The Effectiveness of Using Neurofeedback in the Treatment of Post-traumatic Stress Disorder: A systematic review. *Trauma, Violence, & Abuse*, 21(3), 541–550. <https://doi.org/10.1177/1524838018781103>
- Peri, T., Ben-Shakhar, G., Orr, S.P., Shalev, A.Y. (2000). Psychophysiological Assessment of Aversive Conditioning in Posttraumatic Stress Disorder. *Biological Psychiatry*, (47), 512–519. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(99\)00144-4](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(99)00144-4)
- Pole, N. (2007). The Psychophysiology of Posttraumatic Stress Disorder: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 133(5), 725–746
- Resendiz-Ochoa, E., Cruz-Albarran, I.A., Garduno-Ramon, M.A., Rodriguez-Medina, D.A., Osornio-Rios, R.A., Morales-Hernandez, L.A. (2021). Novel Expert System to Study Human Stress Based on Thermographic Images. *Expert Systems with Applications*, (178), 115024. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115024>
- Restauri, N., Sheridan, A.D. (2020). Burnout and Posttraumatic Stress Disorder in the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pandemic: Intersection, impact, and interventions. *Journal of the American College of Radiology*, 17(7), 921–926. <https://doi.org/10.1016/j.jacr>
- Rogel, A., Loomis, A.M., Hamlin, E., Hodgdon, H., Spinazzola, J., van der Kolk, B. (2020). The Impact of Neurofeedback Training on Children with Developmental Trauma: A randomized controlled study. *Psychological Trauma*, (12), 918–929. <https://doi.org/10.1037/tra0000648>
- Rountree-Harrison, D., Berkovsky, S., Kangas, M. (2023). Heart and Brain Traumatic Stress Biomarker Analysis with and without Machine Learning: A scoping review. *International Journal of Psychophysiology*, (185), 27–49. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.01.009>
- Sadeghi, M., Sasangohar, F., Hegde, S., McDonald, A. (2020). Understanding Heart Rate Reactions to Posttraumatic Stress Disorder (PTSD) among Veterans. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 64(1), 780. <https://doi.org/10.1177/00187208211034024>
- Sarro, E.C., Sullivan, R.M., Barr, G. (2014). Unpredictable Neonatal Stress Enhances Adult Anxiety and Alters Amygdala Gene Expression Related to Serotonin and GABA. *Neuroscience*, (258), 147–161. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2013.10.064>
- Schenker, M.T., Theoswin, P.M., Qian, H., Jordan, A.S., Nicholas, C.L., Felmingham, K.L. (2023). Sleep and Day-to-day PTSD Symptom Variability: An ecological momentary assessment and actigraphy monitored study in trauma-exposed young adults. *European Journal of Psychotraumatology*, 14(2), 2202058. <https://doi.org/10.1080/2008066.2023.2202058>
- Sherin, J.E., Nemeroff, C.B. (2011) Post-traumatic Stress Disorder: The neurobiological impact of psychological trauma. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 13(3), 263–278. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2011.13.2/jsherin>
- Shin, L.M., Whalen, P.J., Pitman, R.K., Bush, G., Macklin, M.L., Lasko, N.B., Orr, S.P., McNerney, S.C., Rauch, S.L. (2001). An fMRI Study of Anterior Cingulate Function in Posttraumatic Stress Disorder. *Biological Psychiatry*, 50(12), 932–942. [https://doi.org/10.1016/s0006-3223\(01\)01215-x](https://doi.org/10.1016/s0006-3223(01)01215-x)
- Schuman, D.L., Killian, M.O. (2019). Pilot Study of a Single Session Heart Rate Variability Biofeedback Intervention on Veterans' Posttraumatic Stress Symptoms. *Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 44(1), 9–20. <https://doi.org/10.1007/s10484-018-9415-3>
- Steingrimsson, S., Bilonic, G., Ekelund, A.C., Larson, T., Stadig, I., Svensson, M., Vukovic, I.S., Wartenberg, C., Wrede, O., Bernhardsson, S. (2020). Electroencephalography- Based Neurofeedback as Treatment for Posttraumatic Stress Disorder: A systematic review and meta-analysis. *European Psychiatry*, 63(1), e7. <https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2019.7>
- Tegeler, C.L., Shaltout, H.A., Lee, S.W., Simpson, S.L., Gerdes, L., Tegeler, C.H. (2020). Pilot Trial of a Noninvasive Closed-Loop Neurotechnology for Stress-Related Symptoms in Law Enforcement: Improvements in self-reported symptoms and autonomic function. *Global Advances in Health and Medicine*, (9), 2164956120923288. <https://doi.org/10.1177/2164956120923288>
- Wang, C., Laxminarayan, S., Ramakrishnan, S., Dovzhenok, A., Cashmere, J.D., Germain, A., Reifman, J. (2020). Increased Oscillatory Frequency of Sleep Spindles in Combat-Exposed Veteran Men with Post-traumatic Stress Disorder. *Sleep*, (43), zsa064. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsa064>

References

- Aleksandrov, Yu.I. (2022). *Psychophysiology*. St. Petersburg: Piter Publ. (In Russ.)
- Balters, S., Li, R., Espil, F.M., Piccirilli, A., Liu, N., Gundran, A., Carrion, V.G., Weems, C.F., Cohen, J.A., Reiss, A.L. (2021). Functional Near-Infrared Spectroscopy Brain Imaging Predicts Symptom Severity in Youth Exposed to Traumatic Stress. *Journal of Psychiatric Research*, (144), 494–502. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2021.10.020>
- Bandelow, B., Allgulander, C., Baldwin, D.S., Costa, D.L.D.C., Denys, D., Dilbaz, N., Domschke, K., Eriksson, E., Fineberg, N.A., Hättenschwiler, J., Hollander, E., Kasper, S., Möller, H.-J., Eriksson, E., Fineberg, N.A., Hättenschwiler, J., Kaiya, H., Karavaeva, T., Katzman, M.A., Kim, Yu.K., Inoue, T., Lim, L., Masdrakis, V., Menchón, J.M., Miguel, E.C., Nardi, A.E., Pallanti, S., Perna, G.,

- Rujescu, D., Starcevic, V., Stein, D.J., Tsai, S.-J., Ameringen, M.V., Vasileva, A., Wang, Z., Zohar, J. (2022). World Federation of Societies of Biological Psychiatry (WFSBP) Guidelines for Treatment of Anxiety, Obsessive-Compulsive and Posttraumatic Stress Disorders — Version 3. Part II: OCD and PTSD. *The World Journal of Biological Psychiatry*, 24(2), 118–134. <https://doi.org/10.1080/15622975.2022.2086296>
- Belsher, B.E., Beech, E.H., Reddy, M.K., Smolenski, D.J., Rauch, S.A., Kelber, M., Issa, F., Lewis, C., Bisson, J.I. (2021). Advances in Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for Posttraumatic Stress Disorder: A systematic review. *Journal of Psychiatric Research*, 138, 598–606. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2021.05.011>
- Biggs, A., Brough, P., Drummond, S. (2017). Lazarus and Folkman's Psychological Stress and Coping Theory. *The Handbook of Stress and Health*. Hoboken: Wiley-Blackwell Publ.
- Brewin, C.R., Rose, S., Andrews, B., Green, J., Tata, P., McEvedy, C., Turner, S., Foa, E.B. (2002). Brief Screening Instrument for Post-Traumatic Stress Disorder. *British Journal of Psychiatry*, 181(3), 158–162. <https://doi.org/10.1192/bjp.181.2.158>
- Brunetti, M., Sepede, G., Mingoia, G., Catani, C., Ferretti, A., Merla, A., Del Gratta, C., Romani, G.L., Babiloni, C. (2010). Elevated Response of Human Amygdala to Neutral Stimuli in Mild Posttraumatic Stress Disorder: Neural correlates of generalized emotional response. *Neuroscience*, 168(3), 670–679. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2010.04.024>
- Burgos-Robles, A., Vidal-Gonzalez, I., Santini, E., Quirk, G.J. (2007). Consolidation of Fear Extinction Requires NMDA Receptor Dependent Bursting in the Ventromedial Prefrontal Cortex. *Neuron*, 53(6), 871–880. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.02.021>
- Cakmak, A.S., Alday, E.A.P., Da Poian, G., Rad, A.B., Metzler, T.J., Neylan, T.C., House, S.L., Beaudoin, F.L., An, X., Stevens, J.S., Zeng, D., Linnstaedt, S.D., Jovanovic, T., Germine, L.T., Bollen, K.A., Rauch, S.L., Lewandowski, C.A., Hendry, P.L., Sheikh, S., Storrow, A.B., Musey, P.I., Haran, J.P., Jones, C.W., Punches, B.E., Swor, R.A., Gentile, N.T., McGrath, M.E., Seamon, M.J., Mohiuddin, K., Chang, A.M., Pearson, C., Domeier, R.M., Bruce, S.E., O'Neil, B.J., Rathlev, N.K., Sanchez, L.D., Pietrzak, R.H., Joormann, J., Barch, D.M., Pizzagalli, D.A., Harte, S.E., Elliott, J.M., Kessler, R.C., Koenen, K.C., Ressler, K.J., Mclean, S.A., Li, Q., Clifford, G.D. (2021). Classification and Prediction of Post-Trauma Outcomes Related to Ptsd Using Circadian Rhythm Changes Measured via Wrist-Worn Research Watch in a Large Longitudinal Cohort. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 25(8), 2866–2876. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2021.3053909>
- Cheung, S., Han, E., Kushki, A., Anagnostou, E., Biddiss, E. (2016). Biomusic: An Auditory Interface for Detecting Physiological Indicators of Anxiety in Children. *Frontiers in Neuroscience*, 10, 401. <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00401>
- Clancy, K.J., Andrzejewski, J.A., Simon, J., Ding, M., Schmidt, N.B., Li, W. (2020). Posttraumatic Stress Disorder is Associated with a Dysrhythmia Across the Visual Cortex and the Default Mode Network. *eNeuro*, 7(4), 1–12. <https://doi.org/10.1523/EN-EURO.0053-20.2020>
- Cloitre, M., Brewin, C.R., Kazlauskas, E., Lueger-Schuster, B., Karatzias, T., Hyland, P., Shevlin, M. (2021). Commentary: The need for research on PTSD in children and adolescents. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 62(3), 277–279. <https://doi.org/10.1111/jcpp.13361>
- Cool, J., Zappetti, D. (2019). *The Physiology of Stress. Medical Student Well-Being: An essential guide*. Cham: Springer Publ.
- Di Giacinto, A., Brunetti, M., Sepede, G., Ferretti, A., Merla, A. (2014). Thermal Signature of Fear Conditioning in Mild Posttraumatic Stress Disorder. *Neuroscience*, 266, 216–223. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2014.02.009>
- Cowdin, N., Kobayashi, I., Mellman, T.A. (2014). Theta Frequency Activity During Rapid Eye Movement (REM) Sleep is Greater in People with Resilience Versus PTSD. *Experimental Brain Research*, 232(5), 1479–1485. <https://doi.org/10.1007/s00221-014-3857-5>
- DSM-5: “Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5th Ed., Text Revision (DSM-5-TR™)”. (2022).
- Du Bois, N., Bigirimana, A.D., Korik, A., Kéthina, L.G., Rutembesa, E., Mutabaruka, J., Mutesa, L., Prasad, G., Jansen, S., Coyle, D.H. (2021). Neurofeedback with Low-Cost, Wearable Electroencephalography (EEG) Reduces Symptoms in Chronic Post-Traumatic Stress Disorder. *Journal of Affective Disorders*, 295, 1319–1334. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2021.08.071>
- Edinoff, A.N., Hegefelf, T.L., Petersen, M., Patterson, J.C., Yossi, C., Slizewski, J., Osumi, A., Cornett, E.M., Kaye, A., Kaye, J.S., Javalkar, V., Viswanath, O., Urits, I., Kaye, A.D. (2022). Transcranial Magnetic Stimulation for Post-Traumatic Stress Disorder. *Frontiers in Psychiatry*, 13, 701348. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2022.701348>
- Fedotchev, A.I. (2022). Correction of Stress-Induced States by Sensory Influences Automatically Modulated by Endogenous Human Rhythms. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti imeni I.P. Pavlova = Journal of Higher Nervous Activity Named after I.P. Pavlov*, 72(1), 3–10. (In Russ.)
- Fleming, J.E., Orłowski, J., Lowery, M.M., Chaillet, A. (2020). Self-Tuning Deep Brain Stimulation Controller for Suppression of Beta Oscillations: Analytical derivation and numerical validation. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 639. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00639>
- Ge, F., Yuan, M., Li, Y., Zhang, W. (2020). Posttraumatic Stress Disorder and Alterations in Resting Heart Rate Variability: A systematic review and meta-analysis. *Psychiatry Investigation*, 17(1), 9–20. <https://doi.org/10.30773/pi.2019.0112%0APrint>
- Gordon, E., Palmer, D.M., Cooper, N. (2010). EEG Alpha Asymmetry in Schizophrenia, Depression, PTSD, Panic Disorder, ADHD and Conduct Disorder. *Clinical EEG and Neuroscience*, 41(4), 178–183. <https://doi.org/10.1177/155005941004100>
- Gouveia, F.V., Davidson, B., Meng, Y., Gidyk, D.C., Rabin, J.S., Ng, E., Abrahao, A., Lipsman, N., Jacobbe, P., Hamani, C. (2020). Treating Post-traumatic Stress Disorder with Neuromodulation Therapies: Transcranial Magnetic Stimulation, Transcranial Direct Current Stimulation, and Deep Brain Stimulation. *Neurotherapeutics*, 17(4), 1747–1756. <https://doi.org/10.1007/s13311-020-00871-0>
- Hoffman, K.L., Gothard, K.M., Schmid, M.C., Logothetis, N.K. (2007). Facialexpression and Gaze-Selective Responses in the Monkey Amygdala. *Current Biology*, 17, 766–772. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.03.040>
- Imperator, C., Farina, B., Quintiliani, M.I., Onofri, A., Gattinara, P.C., Lepore, M., Gnoni, V., Mazzucchi, E., Contardi, A., Della Marca, G. (2014). Aberrant EEG Functional Connectivity and EEG Power Spectra in Resting State Post-Traumatic Stress Disorder: A sLORETA study. *Biological Psychology*, 102, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.07.011>
- Jovanovic, T., Norrholm, S.D., Sakoman, A.J., Esterajher, S., Kozarić-Kovačić, D. (2009). Altered Resting Psychophysiology and Startle Response in Croatian Combat Veterans with PTSD. *International Journal of Psychophysiology*, 71(3), 264–268. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.10.007>
- Kandel, E. (2022). *In search of memory*. Moscow: Elementy. Publ (Corpus). (In Russ.)

- Kazennaya, E.V. (2020). Modern Foreign Studies of Post-traumatic Stress Disorder and its Treatment by Effective Psychotherapeutic Methods in Adults. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya = Journal of Modern Foreign Psychology*, 9(4), 110–119. (In Russ.). doi: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090410>
- Kino, T., Chrousos, G.P. (2011). Circadian CLOCK-Mediated Regulation of Target-Tissue Sensitivity to Glucocorticoids: Implications for cardiometabolic diseases. *Endocrine Development*, (20), 116–126. <https://doi.org/10.1159/000321232>
- Lajud, N., Torner, L. (2014). Early Life Stress and Hippocampal Neurogenesis in the Neonate: Sexual dimorphism, long term consequences and possible mediators. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 8(3), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2015.00003>
- Langevin, J.P., Koek, R.J., Schwartz, H.N., Chen, J.W., Sultzer, D.L., Mandelkern, M.A., Kulick, A.D., Krahl, S.E. (2016). Deep Brain Stimulation of the Basolateral Amygdala for Treatment Refractory Posttraumatic Stress Disorder. *Biological Psychiatry*, (79), 82–84. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2015.09.003>
- Lawton, R., Frankenberg, E., Seeman, T., Crimmins, E., Sumantri, C., Thomas, D. (2023). Exposure to the Indian Ocean Tsunami Shapes the HPA-Axis Resulting in HPA “Burnout” 14 Years Later. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(44), 1–7. <https://doi.org/10.1073/pnas.2306497120>
- Leem, J., Cheong, M.J., Yoon, S.H., Kim, H., Jo, H.G., Lee, H., Kim, J., Kim, H.Y., Kim, G.W., Kang, H.W. (2020). Neurofeedback Self-Regulating Training in Patients with Post Traumatic Stress Disorder: A randomized controlled trial study protocol. *Integrative Medicine Research*, 9(4), 100464. <https://doi.org/10.1016/j.imr.2020.100464>
- Loneragan, M.H., Olivera-Figueroa, L.A., Pitman, R.K., Brunet, A. (2013). Propranolol's Effects on the Consolidation and Reconsolidation of Long-Term Emotional Memory in Healthy Participants: A meta-analysis. *Journal of Psychiatry and Neuroscience*, 38(4), 222–231. <https://doi.org/10.1007/s00221-014-3857-5>
- Lupien, S.J., Maheu, F., Tu, T., Fiocco, A., Schramek, T.E. (2007). The Effects of Stress and Stress Hormones on Human Cognition: Implications for the field of brain and cognition. *Brain and Cognition*, (65), 209–237. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.02.007>
- McEwen, B.S., Nasca, C., Gray, J.D. (2016). Stress Effects on Neuronal Structure: Hippocampus, Amygdala, and Prefrontal Cortex. *Neuropsychopharmacology Reviews*, (41), 3–23. <https://doi.org/10.1038/npp.2015.171>
- Micoulaud-Franchi, J.A., Jeunet, C., Pelissolo, A., Ros, T. (2021). EEG Neurofeedback for Anxiety Disorders and Post-Traumatic Stress Disorders: A blueprint for a promising brain-based therapy. *Current Psychiatry Reports*, (23), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11920-021-01299-9>
- Mintie, D., Staples, J.K. (2018). Reclaiming Life after Trauma: Healing PTSD with Cognitive-Behavioral Therapy and Yoga. New-York: Simon and Schuster Publ.
- Moore, A.R. (2022). Genetic, Epigenetic, and Epitranscriptomic Mechanisms Associated with Learning and Memory. *Frontiers in Genetics*, (12), 835719. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.835719>
- Mozhaeva, E. (2022). Which Psychotherapy is More Effective for PTSD? *Konsul'tativnaya psikhologiya i psikhoterapiya = Counseling Psychology and Psychotherapy*, 30(2), 167–171. (In Russ.). <https://doi.org/10.17759/cpp.2022300211>
- Nicholson, A.A., Ros, T., Jetly, R., Lanius, R.A. (2020). Regulating Posttraumatic Stress Disorder Symptoms with Neurofeedback: Regaining control of the mind. *Journal of Military, Veteran and Family Health*, 6(S1), 3–15. <https://doi.org/10.3138/jmfvh.2019-0032>
- Panisch, L.S., Hai, A.H. (2020). The Effectiveness of Using Neurofeedback in the Treatment of Post-traumatic Stress Disorder: A systematic review. *Trauma, Violence, & Abuse*, 21(3), 541–550. <https://doi.org/10.1177/1524838018781103>
- Peri, T., Ben-Shakhar, G., Orr, S.P., Shalev, A.Y. (2000). Psychophysiological Assessment of Aversive Conditioning in Posttraumatic Stress Disorder. *Biological Psychiatry*, (47), 512–519. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(99\)00144-4](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(99)00144-4)
- Pole, N. (2007). The Psychophysiology of Posttraumatic Stress Disorder: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 133(5), 725–746
- Resendiz-Ochoa, E., Cruz-Albarran, I.A., Garduno-Ramon, M.A., Rodriguez-Medina, D.A., Osornio-Rios, R.A., Morales-Hernandez, L.A. (2021). Novel Expert System to Study Human Stress Based on Thermographic Images. *Expert Systems with Applications*, (178), 115024. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115024>
- Restauri, N., Sheridan, A.D. (2020). Burnout and Posttraumatic Stress Disorder in the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pandemic: Intersection, impact, and interventions. *Journal of the American College of Radiology*, 17(7), 921–926. <https://doi.org/10.1016/j.jacr>
- Rogel, A., Loomis, A.M., Hamlin, E., Hodgdon, H., Spinazzola, J., van der Kolk, B. (2020). The Impact of Neurofeedback Training on Children with Developmental Trauma: A randomized controlled study. *Psychological Trauma*, (12), 918–929. <https://doi.org/10.1037/tra0000648>
- Rountree-Harrison, D., Berkovsky, S., Kangas, M. (2023). Heart and Brain Traumatic Stress Biomarker Analysis with and without Machine Learning: A scoping review. *International Journal of Psychophysiology*, (185), 27–49. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.01.009>
- Sadeghi, M., Sasangohar, F., Hegde, S., McDonald, A. (2020). Understanding Heart Rate Reactions to Posttraumatic Stress Disorder (PTSD) among Veterans. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 64(1), 780. <https://doi.org/10.1177/00187208211034024>
- Sapolski, R. (2020). Psychology of stress. St. Petersburg: Piter Publ. (In Russ.)
- Sarro, E.C., Sullivan, R.M., Barr, G. (2014). Unpredictable Neonatal Stress Enhances Adult Anxiety and Alters Amygdala Gene Expression Related to Serotonin and GABA. *Neuroscience*, (258), 147–161. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2013.10.064>
- Schenker, M.T., Theoswin, P.M., Qian, H., Jordan, A.S., Nicholas, C.L., Felmingham, K.L. (2023). Sleep and Day-to-day PTSD Symptom Variability: An ecological momentary assessment and actigraphy monitored study in trauma-exposed young adults. *European Journal of Psychotraumatology*, 14(2), 2202058. <https://doi.org/10.1080/2008066.2023.2202058>
- Sherin, J.E., Nemeroff, C.B. (2011) Post-traumatic Stress Disorder: The neurobiological impact of psychological trauma. *Dia-logues in Clinical Neuroscience*, 13(3), 263–278. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2011.13.2/jsherin>
- Shin, L.M., Whalen, P.J., Pitman, R.K., Bush, G., Macklin, M.L., Lasko, N.B., Orr, S.P., McInerney, S.C., Rauch, S.L. (2001). An fMRI Study of Anterior Cingulate Function in Posttraumatic Stress Disorder. *Biological Psychiatry*, 50(12), 932–942. [https://doi.org/10.1016/s0006-3223\(01\)01215-x](https://doi.org/10.1016/s0006-3223(01)01215-x)
- Schuman, D.L., Killian, M.O. (2019). Pilot Study of a Single Session Heart Rate Variability Biofeedback Intervention on Veterans' Posttraumatic Stress Symptoms. *Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 44(1), 9–20. <https://doi.org/10.1007/s10484-018-9415-3>

Steingrímsson, S., Bilonic, G., Ekelund, A.C., Larson, T., Stadig, I., Svensson, M., Vukovic, I.S., Wartenberg, C., Wrede, O., Bernhardsson, S. (2020). Electroencephalography-Based Neurofeedback as Treatment for Posttraumatic Stress Disorder: A systematic review and meta-analysis. *European Psychiatry*, 63(1), e7. <https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2019.7>

Tegeler, C.L., Shaltout, H.A., Lee, S.W., Simpson, S.L., Gerdes, L., Tegeler, C.H. (2020). Pilot Trial of a Noninvasive Closed-Loop Neurotechnology for Stress-Related Symptoms in Law Enforcement: Improvements in self-reported symptoms and autonomic function. *Global Advances in Health and Medicine*, (9), 2164956120923288. <https://doi.org/10.1177/2164956120923288>

Vasil'eva, A.V., Karavaeva, T.A., Radionov, D.S., Starunskaya, D.A. (2023). Algorithm for Diagnosing Post-Traumatic Stress Disorder. *Obozrenie psikhiiatrii i meditsinskoi psikhologii im. V.M. Bekhtereva = V.M. Bekhterev Review of Psychiatry and Medical Psychology*, 57(1), 83–95. (In Russ.). <https://doi.org/10.31363/2313-7053-2023-741>

Wang, C., Laxminarayan, S., Ramakrishnan, S., Dovzhenok, A., Cashmere, J.D., Germain, A., Reifman, J. (2020). Increased Oscillatory Frequency of Sleep Spindles in Combat-Exposed Veteran Men with Post-traumatic Stress Disorder. *Sleep*, (43), zsa064. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsa064>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / ABOUT THE AUTHORS



Александр Михайлович Черноρίζов, доктор психологических наук, профессор, заведующий кафедрой психофизиологии факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация, amchern53@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5199-5050>

Alexander M. Chernorizov, Dr. Sci. (Psychology), Professor, Head of the Department of Psychophysiology, the Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, amchern53@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5199-5050>



Александр Павлович Шкуруинов, доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация, ashkurinov@physics.msu.ru <https://orcid.org/000-0002-6156-2395>

Alexander P. Shkurinov, Dr. Sci. (Physics and Mathematics), Professor at the Department of General Physics and Wave Processes, the Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, ashkurinov@physics.msu.ru, <https://orcid.org/000-0002-6156-2395>



Сергей Александрович Исайчев, кандидат психологических наук, доцент кафедры психофизиологии факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация, isaychev@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3113-7768>

Sergey A. Isaychev, Cand. Sci. (Psychology), Associate Professor at the Department of Psychophysiology, the Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, isaychev@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3113-7768>



Адита Валерьевна Пилечева, специалист кафедры физического воспитания и спорта Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова; инженер-исследователь лаборатории прикладной и экспериментальной психофизиологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Российская Федерация, adita2010@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6075-8695>

Adita V. Pilecheva, Specialist at the Department of Physical Education and Sports, Lomonosov Moscow State University; research engineer, Laboratory of Experimental and Applied Psychophysiology, National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russian Federation, adita2010@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6075-8695>



Илья Александрович Ожередов, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация, ozheredov@physics.msu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3620-6903>

Ilya A. Ozheredov, Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Associate Professor at the Department of General Physics and Wave Processes, the Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, ozheredov@physics.msu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3620-6903>



Александр Владимирович Петров, аспирант кафедры психофизиологии факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация, mibintersabinal@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-5519-6300>

Alexander V. Petrov, Postgraduate Student at the Department of Psychophysiology, the Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, mibintersabinal@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-5519-6300>



Александр Евгеньевич Манаенков, аспирант кафедры психофизиологии факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация, allomulder@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1284-8247>

Alexander E. Manaenkov, Postgraduate Student at the Department of Psychophysiology, the Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, allomulder@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1284-8247>

Поступила: 26.11.2023; получена после доработки: 12.12.2023; принята в печать: 20.09.2024.

Received: 26.11.2023; revised: 12.12.2023; accepted: 20.09.2024.