



УДК 159.91

**Петров Александр Владимирович**

Аспирант кафедры психофизиологии  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
mibintersabinal@gmail.com

**Черноризов Александр Михайлович**

Доктор психологических наук, профессор, заведующий кафедрой психофизиологии  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
amchern53@mail.ru

**Alexander V. Petrov**

Graduate student at Department of Psychophysiology  
Lomonosov Moscow State University  
mibintersabinal@gmail.com

**Alexander M. Chernorizov**

Doctor of Psychological Sciences, Professor, Head of the Department of Psychophysiology  
Lomonosov Moscow State University  
amchern53@mail.ru

**Психофизиологическая когерентность как биомаркер стресса и инструмент управления психологическим благополучием**

**Psychophysiological coherence as a biomarker of stress and a tool for managing psychological well-being**

***Аннотация.** Стресс является неотъемлемым компонентом адаптации человека к условиям окружающей среды. Тем не менее, постоянное или чрезмерное воздействие стресса связано с развитием различных патологических состояний. На данный момент объективная оценка уровня стресса еще остается актуальной методологической проблемой, поскольку большинство используемых индикаторов обладают рядом недостатков и ограничений. В связи с этим изучение объективных показателей стресса считается перспективным направлением исследований. Одним из новых параметров является психофизиологическая когерентность, оцениваемая через паттерн вариабельности сердечного ритма. Концепция психофизиологической когерентности, разработанная Институтом HeartMath, определяет это состояние как синхронизацию между различными системами организма, что проявляется в гармоничном и синусоидальном паттерне вариабельности сердечного ритма с пиком в низкочастотном диапазоне и является сущностным ядром психологической устойчивости.*

***Ключевые слова:** психофизиологическая когерентность, биомаркеры, стресс, вариабельность сердечного ритма, биологическая обратная связь*

***Abstract.** Stress is an integral component of human adaptation to environmental conditions. However, chronic or excessive exposure to stress is associated with the development of various pathological conditions. Currently, objective assessment of stress levels remains a pressing methodological challenge, as most of the indicators used have a number of shortcomings and limitations. Therefore, the study of objective stress indicators is considered a promising area of research. One of the new parameters is psychophysiological coherence, assessed through the heart rate variability pattern. The concept of psychophysiological coherence, developed by the HeartMath Institute, defines this state as synchronization between various body systems, manifested in a harmonious and sinusoidal heart rate variability pattern with a peak in the low-frequency range and representing the essential core of psychological resilience.*

***Keywords:** psychophysiological coherence, biomarkers, stress, heart rate variability, biofeedback*

**Введение.** Проблема объективной оценки уровня стресса. Хронический стресс является одним из ключевых факторов риска развития широкого спектра заболеваний. Доказана его причинно-следственная связь с сердечно-сосудистыми патологиями, депрессией, тревожными расстройствами и другими состояниями, определяющими основное бремя современной неинфекционной заболеваемости [46,62,76,83]. В условиях растущих психоэмоциональных нагрузок, особенно в профессиональной среде, актуальной задачей превентивной и восстановительной медицины становится не только лечение последствий, но и ранняя объективная диагностика стрессовых состояний регуляторных систем организма.

Несмотря на очевидную медицинскую и психологическую значимость, объективная количественная оценка стресса и его «физиологической цены» для организма остается сложной методологической проблемой. Существующие подходы обладают рядом значительных ограничений. Субъективные методы, основанные на опросниках и анкетах, отражают лишь воспринимаемый стресс, зависящий от личностных особенностей и когнитивного искажения. Традиционные биохимические маркеры, такие как уровень кортизола в крови, демонстрируют состояние гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси в конкретный момент времени, игнорируя

значительные суточные и ситуационные колебания и кумулятивный эффект хронической стрессовой нагрузки. Современные обзоры, обобщающие данные исследований биомаркеров стресса, указывают на такие фундаментальные проблемы как отсутствие унифицированных протоколов или сложность учета множества вмешивающихся факторов: диета, индивидуальные особенности метаболизма, физическая активность и другие. Все это затрудняет интерпретацию результатов и внедрение таких показателей в широкую клиническую практику.

Таким образом, в науке о стрессе сформировался запрос на поиск неинвазивного, динамичного и информативного биомаркера, который мог бы объективно отражать не только сиюминутную реакцию, но и текущее функциональное состояние адаптационных систем и их резервов. Восстановительная медицина сегодня ориентируется в первую очередь на оценку различных стадий напряжения регуляторных систем. В этом контексте особый интерес представляет анализ состояния вегетативной нервной системы (ВНС) – главного исполнительного механизма стрессовых реакций. Нарушение баланса между ее симпатическим и парасимпатическим отделами является центральным звеном в патогенезе состояний, опосредованных стрессом. Поэтому показатель, который может количественно и качественно оценить гармоничность работы ВНС и связанных с ней систем, может стать объективным индикатором уровня стресса.

**Классические биомаркеры стресса.** Психофизиологическая когерентность (согласованность) в качестве биомаркера стресса и других состояний стала рассматриваться в науке относительно недавно, в то время как другие показатели изучаются уже десятки лет. Стандартными биомаркерами считаются параметры периферической нервной системы, связанные с сердечной активностью, электропроводимостью кожи, мышечной активностью, кровенаполнением сосудов и дыханием. Однако наиболее часто используются показатели активности центральной нервной системы, регистрируемые с помощью электроэнцефалографии (ЭЭГ). Также отдельно стоит отметить, что большое количество исследований стресса в психофизиологии и медицине связано с поиском биомаркеров одного из главных патологических стрессовых состояний – посттравматического стрессового расстройства (ПТСР).

В исследованиях, проведенных с применением методов ЭЭГ, обычно выделяются несколько компонентов, связанных со стрессом, а одним из главных его биомаркеров считается асимметрия электрической активности головного мозга [10,16,30,73]. Одним из наиболее часто анализируемых показателей является межполушарная асимметрия мощности альфа-ритма, снижение которой обычно свидетельствует о более высоком уровне когнитивной нагрузки. Тем не менее, результаты исследований связи этого параметра со стрессом оказались неоднозначными: с одной стороны, было продемонстрировано, что асимметрия мощности альфа-ритма действительно может служить достаточно хорошим индикатором стресса [10,30], с другой – существуют данные, показывающие, что асимметрия альфа-ритма, измеренная в состоянии покоя, не является надежным показателем высокого уровня стресса [59]. Другими хорошими биомаркерами стресса могут служить изменения мощности различных ритмов ЭЭГ: альфа-ритма [37], бета-ритма [29,37], тета-ритма [16,34,81], гамма-ритма [15,23] и дельта-ритма [29]. Однако, существуют данные, свидетельствующие о потенциальной ненадежности как минимум части этих индикаторов: было показано отсутствие значимых различий в мощностях тета-ритма и дельта-ритма между группой пациентов с ПТСР и контрольной группой [15,37]. Также некоторые исследователи заявляют о связи ПТСР с различными изменениями функциональной связности, ассоциированными с бета-ритмами [42,63,75,89] и тета-ритмами [42,75,82]. Кроме того, у пациентов с ПТСР были обнаружены изменения в характеристиках вызванных потенциалов [23]. Некоторые параметры негативности рассогласования, такие как амплитуда, также могут быть ассоциированы со стрессом [28]. Другими компонентами, связанными со стрессом, могут считаться показатели энтропии [14], общая мощность электрической активности [25] и ее согласованность [34].

Анализ параметров активности периферической нервной системы для поиска биомаркеров стресса является менее популярным. Тем не менее, было проведено достаточное количество исследований, связанных с различными показателями сердечной активности и электропроводимости кожи при разных уровнях стресса. Например, было неоднократно показано, что испытуемые с ПТСР имеют повышенную частоту сердечных сокращений по сравнению с контрольной группой [38,58,71]. Хотя главным биомаркером стресса нередко считается именно повышенная частота сердечных сокращений, она является неспецифичной реакцией, в связи с чем некоторые исследования указывают на то, что снижение вариабельности сердечного ритма (ВСР) является более информативным и чувствительным индикатором дисрегуляции при высоком уровне стресса [40,71] и связывается с ним в большом количестве исследований [12,32,40,60,66,67,71,72]. Также в одном из исследований у пациентов с ПТСР была обнаружена повышенная реакция проводимости кожи в сочетании с ее более медленным снижением от пробы к пробе [58], однако в другом исследовании изменения в различных параметрах кожно-гальванической реакции при ПТСР найдены не были [38]. Кроме того, у пациентов с ПТСР был выявлен сниженный уровень аритмии дыхательного синуса по сравнению с контрольной группой [38].

В области поиска биомаркеров стресса появляются и новые подходы. Например, в Университете Джона Хопкинса недавно было проведено исследование, в котором с помощью искусственного интеллекта оценивался объем надпочечников в качестве индикатора накопленного стресса [65]. Хотя подробные данные этого исследования еще не опубликованы, это направление уже можно считать многообещающим. Однако практическое применение такого индикатора является сложным, дорогостоящим и малодоступным для повседневного скрининга. Таким образом, в рамках диагностики и коррекции стрессовых состояний многие биомаркеры сталкиваются с рядом проблем, среди которых, по крайней мере, можно отметить неспецифичность (частота сердечных сокращений), противоречивость данных (межполушарная асимметрия альфа-ритма, мощности тета-ритма и дельта-

ритма, параметры кожно-гальванической реакции) и экономические и технические сложности (объем надпочечников).

**Феномен психофизиологической когерентности.** Психофизиологические системы организма человека обрабатывают колоссальный объем информации, который должен непрерывно передаваться из одной части мозга или тела в другую. Традиционно взаимодействие систем организма рассматривается с акцентом на активации, в которой основой коммуникации считается изменение количества вещества или уровня определенной физиологической активности. Несмотря на важность этого аспекта, генерация и передача ритмов и паттернов физиологической активности, по-видимому, отражают более фундаментальный порядок информационного обмена, работающий на координацию функционирования организма как единого целого. Органы тела непрерывно передают информацию в мозг путем афферентного (восходящего) потока данных, изменения в котором вызывают изменения в поведении и различных психических процессах.

Сердце играет центральную роль в генерации и передаче общесистемной информации, необходимой для функционирования организма как единого целого [56,84,87]. Данное утверждение объясняется в первую очередь тем, что сердце является наиболее стабильным и динамичным генератором ритмических колебаний в организме: это сложный центр кодирования и обработки информации, работающий независимо от мозга. Кроме того, сердце функционирует в рамках нескольких ключевых систем организма и получает уникальные возможности для интеграции и передачи информации между ними. Наконец, сердце имеет наиболее развитую коммуникационную сеть с мозгом. Взаимодействие между ними осуществляется по основным четырем каналам [52]: неврологическому (проводящие пути нервной системы), биохимическому (гормоны и нейромедиаторы), биофизическому (пульсации) и энергетическому (электромагнитные поля). Особое значение имеет неврологическая связь, так как сердце обладает собственной разветвленной нервной системой и взаимодействует с мозгом не только через эфферентные (нисходящие), но и через афферентные пути, что формирует фундамент для интеграции когнитивных, физиологических и эмоциональных процессов [2]. Сигналы от некоторых нейронов сердца поступают как в ствол мозга, так и в различные подкорковые центры, такие как таламус, гипоталамус или миндалевидное тело. Например, было установлено, что миндалевидное тело, участвующее в оценке опасности и имеющее большое значение для эмоциональной памяти, демонстрирует синхронизированную с сердечным циклом активность [88]. Таким образом, афферентный поток сердца влияет на регуляторные центры в мозге и воздействует на активность высших мозговых центров, участвующих в обработке информации всех типов, что сказывается на поведении и различных психических процессах [78].

Считается, что разные эмоции связаны с различными паттернами физиологической активности [69,74]. Имеет место двусторонний процесс: эмоции запускают изменения в нервной и гормональной системах, а физиологические изменения участвуют в формировании эмоциональных переживаний. Исследования в Институте HeartMath выявили шесть различных паттернов физиологической активности, генерируемых в разных эмоциональных состояниях [56]. Особое значение имеет режим психофизиологической когерентности, возникающий во время состояний, связанных с положительными эмоциями. Если эти эмоции достаточно устойчивые, паттерны физиологической активности становятся упорядоченными и гармоничными. Режим психофизиологической когерентности может влиять на здоровье, работоспособность и качество жизни, тем самым давая определенные психофизиологические преимущества [52,56].

В психофизиологии понятие когерентности концептуально может рассматриваться с разных сторон [56]. Во-первых, когерентность может пониматься как отличительная организация частей, взаимосвязь которых порождает эмерджентное целое, по своим свойствам качественно отличающееся от суммы свойств своих частей. Во-вторых, когерентность может быть описана как однородный паттерн циклического поведения. Такой тип когерентности называется аутокогерентностью. Хорошим примером этого типа является синусоидальная волна, степень когерентности которой зависит от стабильности ее параметров: частоты, амплитуды и формы. В физиологических системах аутокогерентность описывает степень порядка и стабильности в ритмической активности, генерируемой одной психофизиологической системой. В-третьих, когерентность может рассматриваться как синхронизированное взаимодействие между несколькими системами: это означает, что несколько волн синхронизированы между собой либо по фазе, либо по частоте. Данный тип когерентности может быть назван кросс-когерентностью.

Психофизиологическая когерентность оценивается путем определения максимального пика в диапазоне от 0,04 до 0,26 Гц спектра мощности ВСР, вычисления интеграла в окне шириной 0,03 Гц, центрированном на самый высокий пик в этой области, и расчета общей мощности всего спектра [52,56]. В итоге, когерентный сердечный ритм определяется как относительно гармоничный, близкий к синусоидальному сигнал с очень узким пиком высокой амплитуды в низкочастотной области спектра мощности ВСР и без выраженных пиков в областях очень низких или высоких частот (Рис. 1).

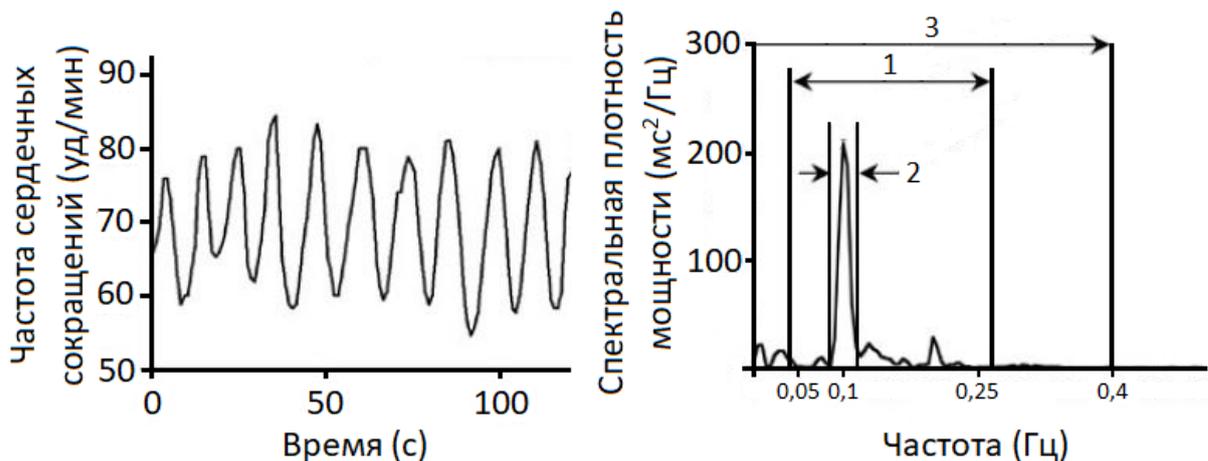


Рис.1. Слева. Пример паттерна когерентного сердечного ритма. Справа. Расчет показателя когерентности сердечного ритма: 1) Определение максимального пика в диапазоне от 0,04 до 0,26 Гц; 2) Вычисление пиковой мощности: интеграл в окне шириной 0,03 Гц, центрированном на самый высокий пик в области; 3) Расчет общей мощности (0,0033 – 0,4 Гц); 4) Показатель когерентности =  $\left( \frac{\text{Пиковая мощность}}{\text{Общая мощность} - \text{Пиковая мощность}} \right)^2$ .

Ключевой характеристикой психофизиологической когерентности является не просто упорядочивание ритма сердца, но и вовлечение в этот паттерн других физиологических осцилляторов. Это было продемонстрировано в исследованиях, где после применения техник саморегуляции, связанных с позитивными эмоциями, наблюдалась синхронизация различных ритмов на одной частоте [4,80]. Таким образом, сердце, являясь самым мощным ритмическим генератором в организме, выступает в роли «дирижера» и «подтягивает» к своей частоте другие системы, обеспечивая их согласованную работу.

В то время как психофизиологическая когерентность представляет собой оптимальное функциональное состояние, характеризующееся гармонией и синхронизацией различных систем организма, стресс является ее противоположностью – состоянием системной дезорганизации. Поэтому стрессовую реакцию можно представить как переход от упорядоченного и эффективного режима к хаотичному паттерну. Механизмы, посредством которых стресс нарушает психофизиологическую когерентность, являются очень важными для объяснения патогенеза стресс-индуцированных расстройств и их коррекции. На физиологическом уровне стресс проявляется как дезинтеграция ритмической активности ВНС. Исследования демонстрируют, что различные негативные эмоции отражаются в паттерне ВСР [11,39]. Главным фактором, связывающим стресс и уменьшение психофизиологической когерентности, является снижение тонуса блуждающего нерва, обеспечивающего регуляцию сердечного ритма. Резюмируя, психофизиологическую когерентность можно описать как состояние, характеризующееся стабильным синусоидальным ритмическим рисунком сердечного ритма, повышенной парасимпатической активностью, эффективным и гармоничным функционированием систем организма, а также увеличенной синхронизацией и согласованностью между ними [52].

**Психофизиологическая когерентность как показатель уровня стресса и психологического благополучия.** Накопленные данные подтверждают, что низкий уровень психофизиологической когерентности является индикатором стресса и эмоциональной дисрегуляции. В то же время, целенаправленное повышение этого параметра с помощью техник саморегуляции демонстрирует различные положительные эффекты. В большом количестве исследований с использованием технологии биологической обратной связи (БОС) по ВСР для облегчения освоения навыков саморегуляции было выявлено значительное улучшение некоторых показателей здоровья, психологического благополучия и эффективности во многих сферах жизнедеятельности человека [1,5,6,7,8,9,13,17,18,19,20,21,22,24,26,27,31,33,35,36,41,43,44,45,47,48,49,51,52,53,54,55,56,57,61,64,68,70,77,79,85,86].

Так, например, у американских школьников, освоивших техники повышения уровня психофизиологической когерентности, наблюдались значительное снижение тревожности и повышение успеваемости [8]. Эффективность подобных методов для снижения уровня стресса, тревоги и депрессии подтверждается и в небольших практико-ориентированных исследованиях [35]. Кроме того, у иранских студентов, изучающих английский язык как иностранный, тренировка психофизиологической когерентности также привела к значительному снижению тревожности при чтении [61]. Похожий эффект от подобных тренировок был продемонстрирован и в другом исследовании, проведенном с участием итальянских медицинских работников [31]. Методики тренировки стрессоустойчивости, основанные на БОС по ВСР, могут стать эффективным методом, направленным на смягчение негативных последствий стресса, связанного с выполнением различных задач [18], а также могут быть полезны для снижения уровня стресса у спортсменов [19]. Кроме того, было показано, что индивидуальная эффективность тренировок психофизиологической когерентности может коррелировать с определенными личностными чертами, что подчеркивает комплексную природу данного биомаркера, связывающего физиологию и психологию [31].

Использование методик HeartMath для увеличения психофизиологической когерентности может приводить не только к повышению стрессоустойчивости, но и улучшению самочувствия и эмоционального состояния [6,70]. Было показано, что применение техник, нацеленных на повышение уровня психофизиологической когерентности, влечет за собой статистически значимое улучшение эмоционального состояния уже после пяти сессий [21]. Исследование, посвященное программе TestEdge, демонстрирует, что психофизиологическая когерентность служит объективным индикатором способности к эмоциональной саморегуляции и состояния вегетативного баланса в условиях стресса [8]. Более того, в другом исследовании было показано, что программы, связанные с повышением психофизиологической когерентности, приводят к значимому улучшению как объективных физиологических показателей, так и субъективного восприятия настроения и психологической устойчивости, что подчеркивает её комплексный реабилитационный потенциал [22].

Кроме снижения уровня стресса и тревожности по субъективным показателям, исследования продемонстрировали улучшение когнитивных способностей, а также повышение уровня энергии и качества сна при ежедневном использовании тренинга по достижению психофизиологической когерентности в течение нескольких недель [24]. Некоторые испытуемые сообщали, что в состоянии повышенной психофизиологической когерентности чувствовали себя спокойнее [49]. В одном из исследований было установлено, что сотрудники полиции, использовавшие техники повышения психофизиологической когерентности, ощущали не только повышение уровня спокойствия, но и улучшение когнитивных функций и производительности труда, а также снижение усталости, количества негативных эмоций и симптомов стресса [54]. Более того, было продемонстрировано, что целенаправленный тренинг по повышению психофизиологической когерентности на основе БОС по ВСР является эффективным методом для снижения накопленной усталости и повышения психологической устойчивости у авиадиспетчеров [45]. Таким образом, постепенно когерентные паттерны сердечного ритма могут стать более привычной установочной точкой для организма, способствуя достижению более здорового и сбалансированного стандартного физиологического состояния [24]. Также была установлена связь между повышением психофизиологической когерентности и снижением воспринимаемой боли, стресса и негативных эмоций у военных [7]. Эффективность таких техник для сотрудников правоохранительных органов и военных обсуждается и в других исследованиях [86].

Кроме того, использование техник эмоциональной саморегуляции для повышения психофизиологической когерентности может быть полезным при различных заболеваниях и отклонениях. Так, некоторые группы пациентов с психическими расстройствами сообщали об улучшении психологического состояния после тренировок по программам, разработанным институтом HeartMath [26]. Было установлено, что такие тренировки помогают и при снятии симптомов заболеваний желудочно-кишечного тракта [27]. Повышение психофизиологической когерентности с помощью техник эмоциональной саморегуляции также является эффективным методом для снижения артериального давления [1]. Этот подход является особенно полезным для пациентов с гипертонией, испытывающих стресс. Более того, высокий уровень психофизиологической когерентности связан с улучшением когнитивных функций и поведения у детей с СДВГ [47], а также уменьшением тревожности во время послеродовой депрессии у женщин [5]. Результаты другого исследования свидетельствуют о том, что использование техник повышения психофизиологической когерентности может улучшить показатели, связанные со здоровьем сердечно-сосудистой системы, и снизить уровень выгорания среди обучающихся в школе [51].

Психофизиологическая когерентность во время различных стадий сна изучалась в нескольких исследованиях [9,13,50]. Тренинги с применением БОС по ВСР оказали положительное влияние на качество сна по субъективному мнению участников [36]. Измерение психофизиологической когерентности во время сна может стать новым и более точным показателем качества сна [13]. Таким образом, полученные на данный момент результаты закладывают прочную основу для будущих исследований, направленных на улучшение психологического и физиологического благополучия с помощью тренингов БОС по ВСР и сердечно-мозговой когерентности [3].

**Заключение. Перспективы исследования психофизиологической когерентности.** Традиционно диагностика стресс-индуцированных нарушений опирается на большое количество различных индикаторов стресса, среди которых особое место занимают биомаркеры – объективно регистрируемые физиологические показатели. В отличие от субъективных показателей, к которым в первую очередь относятся данные опросников и клинических интервью, они обладают рядом весомых преимуществ, позволяя проводить количественную и качественную оценку состояния организма в режиме реального времени, не зависящую от мнения и желаний обследуемого. Однако и биомаркеры не являются одинаковыми по точности и информативности: классические психофизиологические показатели основываются на фиксации активности отдельных систем, в то время как психофизиологическая когерентность является интегративным параметром, способным отразить качество связи между системами.

Таким образом, психофизиологическая когерентность, оцениваемая через паттерн ВСР, представляет собой мощный, валидный и практичный инструмент в арсенале современной медицины и психофизиологии. В отличие от многих других биомаркеров, она уникальна своей двойной природой: являясь объективным индикатором текущего уровня стресса, она одновременно служит активным механизмом саморегуляции, доступным для освоения каждым человеком. Целенаправленное достижение психофизиологической когерентности через техники эмоциональной саморегуляции открывает научно обоснованный путь не только к эффективному управлению стрессом, но и к достижению более высокого уровня здоровья, психологической устойчивости и оптимального функционирования.

Существует множество неисследованных областей для будущих научных изысканий в сфере психофизиологической когерентности и БОС по ВСП [53]. Например, одним из главных практических вопросов является установление необходимых количества и длительности ежедневных тренировочных сессий по повышению уровня психофизиологической когерентности для перепрограммирования физиологии человека и достижения стойких и значимых поведенческих результатов. Вопрос влияния возраста и психических особенностей на эффективность тренингов также остается почти не изученным. Кроме того, новой и относительно неисследованной областью является изучение одновременного использования БОС по ВСП и сердечно-мозговой когерентности. Дополнительные исследования требуют возможность увеличения кросс-когерентности с помощью тренингов БОС, что может привести к улучшению когнитивных функций или снижению тревожности. Еще одной областью для исследований БОС по ВСП в контексте изучения взаимодействия сердца и мозга является проверка возможности человеком научиться усиливать вызванные сердечным ритмом потенциалы, что предположительно может снизить уровень стресса и тревоги и привести к изменениям в функциональной нейронной связности.

#### **Список литературы:**

1. Alabdulgader, A. (2012). Coherence: A novel nonpharmacological modality for lowering blood pressure in hypertensive patients. *Global Advances in Health and Medicine*, 1(2), 56–64.
2. Armour, J. A. (2003). *Neurocardiology – Anatomical and functional principles*. HeartMath Research Center, Institute of HeartMath.
3. Balaji, S., Plonka, N., Atkinson, M., Muthu, M., Ragulskis, M., Vainoras, A., & McCraty, R. (2025). Heart rate variability biofeedback in a global study of the most common coherence frequencies and the impact of emotional states. *Scientific reports*, 15(1), 3241.
4. Barbaresi, M., Nardo, D., & Fagioli, S. (2024). Physiological Entrainment: A Key Mind-Body Mechanism for Cognitive, Motor and Affective Functioning, and Well-Being. *Brain sciences*, 15(1), 3.
5. Beckham, A. J., Greene, T. B., & Meltzer-Brody, S. (2013). A pilot study of heart rate variability biofeedback therapy in the treatment of perinatal depression on a specialized perinatal psychiatry inpatient unit. *Archives of Women's Mental Health*, 16(1), 59–65.
6. Bedell, W. (2010). Coherence and health care cost – RCA actuarial study: A cost-effectiveness cohort study. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, 16(4), 26–31.
7. Berry, M. E., Chapple, I. T., Ginsberg, J. P., Gleichauf, K. J., Meyer, J. A., & Nagpal, M. L. (2014). Non-pharmacological intervention for chronic pain in veterans: A pilot study of heart rate variability biofeedback. *Global Advances in Health and Medicine*, 3(2), 28–33.
8. Bradley, R. T., McCraty, R., Atkinson, M., Tomasino, D., Daugherty, A., & Arguelles, L. (2010). Emotion self-regulation, psychophysiological coherence, and test anxiety: Results from an experiment using electrophysiological measures. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(4), 261–283.
9. Burch, J. B., Alexander, M., Balte, P., Sofge, J., Winstead, J., Kothandaraman, V., & Ginsberg, J. (2018). Shift work and heart rate variability coherence: pilot study among nurses. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 44, 21–30.
10. Butt, M., Espinal, E., Aupperle, R. L., Nikulina, V., & Stewart, J. L. (2019). The Electrical Aftermath: Brain Signals of Posttraumatic Stress Disorder Filtered Through a Clinical Lens. *Frontiers in psychiatry*, 10, 368.
11. Bylsma, L. M., DeMarree, K. G., McMahan, T. P., Park, J., Biehler, K. M., & Naragon-Gainey, K. (2024). Resting vagally-mediated heart rate variability in the laboratory is associated with momentary negative affect and emotion regulation in daily life. *Psychophysiology*, 61(12), e14668.
12. 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., ... 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.
13. Celka, P., Granqvist, N., Schwabl, H., & Edwards, S. D. (2020). Development and evaluation of a cardiac coherence index for sleep analysis. *Journal of Psychology in Africa*, 30(1), 44–52.
14. Chae, J. H., Jeong, J., Peterson, B. S., Kim, D. J., Bahk, W. M., Jun, T. Y., Kim, S. Y., & Kim, K. S. (2004). Dimensional complexity of the EEG in patients with posttraumatic stress disorder. *Psychiatry research*, 131(1), 79–89.
15. Cohen, D. J., Begley, A., Alman, J. J., Cashmere, D. J., Pietrone, R. N., Seres, R. J., & Germain, A. (2013). Quantitative electroencephalography during rapid eye movement (REM) and non-REM sleep in combat-exposed veterans with and without post-traumatic stress disorder. *Journal of sleep research*, 22(1), 76–82.
16. 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.
17. Criswell, S. R., Sherman, R., & Krippner, S. (2018). Cognitive Behavioral Therapy with Heart Rate Variability Biofeedback for Adults with Persistent Noncombat-Related Posttraumatic Stress Disorder. *The Permanente journal*, 22, 17–207.
18. de Visser, E., Dorfman, A., Chartrand, D., Lamon, J., Freedy, E., & Weltman, G. (2016). Building resilience with the stress resilience training system: design validation and applications. *Work: Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation*, 54(2), 351–366.

19. Dziembowska, I., Izdebski, P., Rasmus, A., Brudny, J., Grzelczak, M., & Cysewski, P. (2016). Effects of Heart Rate Variability Biofeedback on EEG Alpha Asymmetry and Anxiety Symptoms in Male Athletes: A Pilot Study. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 41(2), 141–150.
20. Edwards, S. (2017). Heart intelligence: heuristic phenomenological investigation into the coherence experience using HeartMath methods. *AI & Society*, 34(3), 677–685.
21. Edwards, S. D. (2016). Influence of HeartMath Quick Coherence Technique on psychophysiological coherence and feeling states. *African Journal for Physical Activity and Health Sciences*, 22(4:1), 1006–1018.
22. Edwards, S. D., Edwards, D. J. & Highley, J. A. (2015). Evaluation of HeartMath training for improving personal resilience and psychophysiological coherence. *African Journal for Physical, Health Education, Recreation and Dance*, 21(3:2), 996–1008.
23. Ehlers, C. L., Hurst, S., Phillips, E., Gilder, D. A., Dixon, M., Gross, A., Lau, P., & Yehuda, R. (2006). Electro-physiological responses to affective stimuli in American Indians experiencing trauma with and without PTSD. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1071, 125–136.
24. Elbers, J., & McCraty, R. (2025). From Dysregulation to Coherence: Exploring the HeartMath® Approach to Emotional and Physiological Regulation. *Global advances in integrative medicine and health*, 14, 27536130251408821.
25. Falconer, E., Bryant, R., Felmingham, K. L., Kemp, A. H., Gordon, E., Peduto, A., Olivieri, G., & Williams, L. M. (2008). The neural networks of inhibitory control in posttraumatic stress disorder. *Journal of psychiatry & neuroscience: JPN*, 33(5), 413–422.
26. Field, L., Forshaw, M., Poole, H., Bradbury, H., Catone, L., & Erfan, A. (2021). A systematic review of HeartMath© interventions to improve psychological outcomes in individuals with psychiatric conditions. *Integral Review*, 17(1), 69–89.
27. Field, L., Forshaw, M., Poole, H., Paine, P., Fairclough, G., & Walton, C. (2022). “The tonic’s not always in a bottle”: A qualitative study investigating a heart rate variability biofeedback coherence intervention for individuals with gastrointestinal disorders. *Journal of Complexity in Health Sciences*, 5(1), 1–14.
28. Ge, Y., Wu, J., Sun, X., & Zhang, K. (2011). Enhanced mismatch negativity in adolescents with posttraumatic stress disorder (PTSD). *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 79(2), 231–235.
29. Germain, A., Hall, M., Katherine Shear, M., Nofzinger, E. A. & Buysse, D. J. (2006). Ecological Study of Sleep Disruption in PTSD. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1071, 438–441.
30. 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.
31. Guidotti, S. (2025). Physiological and personality measures as potential factors associated with Cardiac Coherence Training effects on symptoms reduction: A pilot study on healthcare workers (2025). *Clinical Neuropsychiatry*, 22(6), 517–528.
32. Hopper, J. W., Spinazzola, J., Simpson, W. B., & Van Der Kolk, B. A. (2006). Preliminary evidence of parasympathetic influence on basal heart rate in posttraumatic stress disorder. *Journal of Psychosomatic Research*, 60 (1), 83–90.
33. Hurtado, S., Simon-Arndt, C., Kohen, M., Hunter, M., Thomsen, C., & Sanchez, S. (2020). Enhancing decision-making under stress among sailors. *Naval Health Research Center*.
34. Imperatori, C., Farina, B., Quintiliani, M. I., Onofri, A., Castelli Gattinara, P., 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.
35. Jasubhai, S. (2021). Effect of quick coherence technique on psychophysiological coherence, heart rate, stress, anxiety, depression and feeling state in young Adults in India. *Journal of Psychology and Neuroscience*, 3(1), 1–9.
36. Jester, D. J., Rozek, E. K., & McKelley, R. A. (2019). Heart rate variability biofeedback: implications for cognitive and psychiatric effects in older adults. *Aging & mental health*, 23(5), 574–580.
37. Jokić-Begić, N., & Begić, D. (2003). Quantitative electroencephalogram (qEEG) in combat veterans with post-traumatic stress disorder (PTSD). *Nordic journal of psychiatry*, 57(5), 351–355.
38. Jovanovic, T., Norrholm, S. D., Sakoman, A. J., Esterajher, S., & Kozarić-Kovacić, D. (2009). Altered resting psychophysiology and startle response in Croatian combat veterans with PTSD. *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 71(3), 264–268.
39. Jung, H., Yoo, H. J., Choi, P., Nashiro, K., Min, J., Cho, C., Thayer, J. F., Lehrer, P., & Mather, M. (2025). Changes in Negative Emotions Across Five Weeks of HRV Biofeedback Intervention were Mediated by Changes in Resting Heart Rate Variability. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 50(1), 25–48.
40. Kim, J. M., Kim, J. W., Ju, J. K., Jhon, M., Kang, H. J., Lee, J. Y., Jang, H., Kim, J. C., Kim, S. W., & Shin, I. S. (2025). Associations of heart rate variability at early post-injury with later post-traumatic stress disorder over two years. *Journal of psychiatric research*, 188, 276–283.
41. Kim, S., Zemon, V., Lehrer, P., McCraty, R., Cavallo, M. M., Raghavan, P., Jay, G., & Foley, F. W. (2019). Emotion regulation after acquired brain injury: A study of heart rate variability, attentional control, and psychophysiology. *Brain Injury*, 33(8), 1012–1020.

42. Kim, Y. W., Kim, S., Shim, M., Jin, M. J., Jeon, H., Lee, S. H., & Im, C. H. (2020). Riemannian classifier enhances the accuracy of machine-learning-based diagnosis of PTSD using resting EEG. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 102(1), 109960.
43. Laudenslager, M. L., Simoneau, T. L., Mikulich-Gilbertson, S. K., Natvig, C., Brewer, B. W., Sannes, T. S., Kristin, K., Jon, G., & McSweeney, P. (2019). A randomized control trial of stress management for caregivers of stem cell transplant patients: Effect on patient quality of life and caregiver distress. *PsychoOncology*, 28(8), 1614–1623.
44. Lemaire, J. B., Wallace, J. E., Lewin, A. M., de Groot, J., & Schaefer, J. P. (2011). The effect of a biofeedback-based stress management tool on physician stress: A randomized controlled clinical trial. *Open Medicine*, 5(4), 154–163.
45. Li, W. C., Zhang, J., & Kearney, P. (2023). Psychophysiological coherence training to moderate air traffic controllers' fatigue on rotating roster. Risk analysis: an official publication of the Society for Risk Analysis, 43(2), 391–404.
46. Li, X., Zhao, W., Wei, Y. H., Zhang, X. S., Zhu, Y., & Li, X. H. (2025). Perceived stress, risk factors and prognostic monitoring loci for the development of depression. *World journal of psychiatry*, 15(6), 105222.
47. Lloyd, A., Brett, D., & Wesnes, K. (2010). Coherence training improves cognitive functions and behavior in children with ADHD. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, 16(4), 34–42.
48. Lord, D., Deem, A., Pitchford, P., Bray-Richardson, E., & Drennon, M. (2019). A 6-week worksite positivity program leads to greater life satisfaction, decreased inflammation, and a greater number of employees with A1C levels in range. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 61(5), 357–372.
49. Lutz, B. (2014). An institutional case study: Emotion regulation with HeartMath at Santa Cruz county children's mental health. *Global Advances in Health and Medicine*, 3(2), 68–71.
50. Mateos-Salgado, E. L., Ayala-Guerrero, F., & Gutiérrez-Chávez, C. A. (2022). Evaluation of the Heart Rhythm Coherence Ratio During Sleep: A Pilot Study With Polysomnography. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 47(3), 193–198.
51. May, R. W., Seibert, G. S., Sanchez-Gonzalez, M. A., & Fincham, F. D. (2019). Self-regulatory biofeedback training: an intervention to reduce school burnout and improve cardiac functioning in college students. *Stress (Amsterdam, Netherlands)*, 22(1), 1–8.
52. McCraty, R. (2016). *Science of the heart (Vol. 2)*. HeartMath Institute.
53. McCraty, R. (2022). Following the Rhythm of the Heart: HeartMath Institute's Path to HRV Biofeedback. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 47(4), 305–316.
54. McCraty, R., & Atkinson, M. (2012). Resilience training program reduces physiological and psychological stress in police officers. *Global Advances in Health and Medicine*, 1(5), 44–66.
55. McCraty, R., & Nila, M. (2017). The Impact of Resilience Training on Officers wellness and performance. In R. J. Burke (Ed.), *Stress in Policing* (pp. 257–276). Routledge.
56. McCraty, R., Atkinson, M., Tomasino, D., & Bradley, R. (2009). The coherent heart: Heart-brain interactions, psychophysiological coherence, and the emergence of system-wide order. *Integral Review*, 5(2), 10–115.
57. McLeod, C., & Boyes, M. (2021). The effectiveness of social-emotional learning strategies and mindful breathing with biofeedback on the reduction of adolescent test anxiety. *Canadian Journal of Education / Revue Canadienne De L'éducation*, 44(3), 815–847.
58. Metzger, L. J., Orr, S. P., Berry, N. J., Ahern, C. E., Lasko, N. B., & Pitman, R. K. (1999). Physiologic reactivity to startling tones in women with posttraumatic stress disorder. *Journal of abnormal psychology*, 108(2), 347–352.
59. Meyer, T., Smeets, T., Giesbrecht, T., Quaedflieg, C. W., Smulders, F. T., Meijer, E. H., & Merckelbach, H. L. (2015). The role of frontal EEG asymmetry in post-traumatic stress disorder. *Biological psychology*, 108, 62–77.
60. Minassian, A., Geyer, M. A., Baker, D. G., Nievergelt, C. M., O'Connor, D. T., Risbrough, V. B., & Marine Resiliency Study Team (2014). Heart rate variability characteristics in a large group of active-duty marines and relationship to posttraumatic stress. *Psychosomatic medicine*, 76(4), 292–301.
61. Moussavi Esterabadi Kermani, F., & Birjandi, P. (2019). Heart-brain coherence: Relationship between high coherence ratio and reading anxiety among Iranian EFL learners. *Journal of Research in Applied Linguistics*, 10(1), 32–50.
62. Munir, L. Z., & du Toit, E. F. (2024). Impact of chronic psychological stress on cardiovascular disease risk: A narrative review. *Heart and Mind*, 8(4), 268–278.
63. Park, S. M., Jeong, B., Oh, D. Y., Choi, C. H., Jung, H. Y., Lee, J. Y., Lee, D., Choi, J. S. (2021). Identification of major psychiatric disorders from resting-state electroencephalography using a machine learning approach. *Frontiers in Psychiatry*, 12, e707581.
64. Pyne, J. M., Constans, J. I., Nanney, J. T., Wiederhold, M. D., Gibson, D. P., Kimbrell, T., Kramer, T. L., Pitcock, J. A., Han, X., & Williams, D. K. (2018). Heart rate variability and cognitive bias feedback interventions to prevent Post-deployment PTSD: Results from a randomized controlled trial. *Military Medicine*, 184(1–2), e124–e132.
65. Radiological Society of North America. (2025, November 25). AI Detects First Imaging Biomarker of Chronic Stress [Press Release].
66. Reinertsen, E., Nemati, S., Vest, A. N., Vaccarino, V., Lampert, R., Shah, A. J., & Clifford, G. D. (2017). Heart rate-based window segmentation improves accuracy of classifying posttraumatic stress disorder using heart rate variability measures. *Physiological measurement*, 38(6), 1061–1076.

67. Sadeghi, M., Sasangohar, F., & McDonald, A. D. (2020). Toward a Taxonomy for Analyzing the Heart Rate as a Physiological Indicator of Posttraumatic Stress Disorder: Systematic Review and Development of a Framework. *JMIR mental health*, 7(7), e16654.
68. Saito, R., Sawamura, D., Yoshida, K., & Sakai, S. (2021). Relationship between the proficiency level and anxiety-reducing effect in a one-time heart rate variability biofeedback: A randomized controlled trial. *Medicine*, 100(45), e27742.
69. Sani, O. G., Yang, Y., Lee, M. B., Dawes, H. E., Chang, E. F., & Shanechi, M. M. (2018). Mood variations decoded from multi-site intracranial human brain activity. *Nature biotechnology*, 36(10), 954–961.
70. Sarabia-Cobo, C. M. (2015). Heart coherence: a new tool in the management of stress on professionals and family caregivers of patients with dementia. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 40(2), 75–83.
71. Schneider, M., & Schwerdtfeger, A. (2020). Autonomic dysfunction in posttraumatic stress disorder indexed by heart rate variability: a meta-analysis. *Psychological medicine*, 50(12), 1937–1948.
72. Shah, A., & Vaccarino, V. (2015). Heart Rate Variability in the Prediction of Risk for Posttraumatic Stress Disorder. *JAMA psychiatry*, 72(10), 964–965.
73. Shankman, S. A., Silverstein, S. M., Williams, L. M., Hopkinson, P. J., Kemp, A. H., Felmingham, K. L., Bryant, R. A., Mcfarlane, A., & Clark, C. R. (2008). Resting electroencephalogram asymmetry and posttraumatic stress disorder. *Journal of Traumatic Stress*, 21(2), 190–198.
74. Shelepenkov, D., Essel, A., & Kosonogov, V. (2025). Bodily markers of basic emotions: a thermographic study. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, 329(1), R81–R85.
75. Shim, M., Lee, S. H., & Hwang, H. J. (2021). Functional connectivity-based EEG features to assist the diagnosis of post-traumatic stress disorder patients. 2021 9th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI), 1–4.
76. Shin, H., & Park, C. (2025). Perceived stress shapes symptom and social network dynamics: a network analysis of depression, anxiety, and relationship-specific support and strain. *BMC Psychiatry*, 25(1), 715.
77. Sutarto, A. P., Khairai, K. M., & Wahab, M. N. A. (2020). Multimodal stress-management intervention improves physiological, psychological, and productivity of assembly-line workers. *Industrial Engineering & Management Systems*, 19(4), 812–824.
78. Taggart, P., Critchley, H., van Duijvendoden, S., & Lambiase, P. D. (2016). Significance of neuro-cardiac control mechanisms governed by higher regions of the brain. *Autonomic neuroscience: basic & clinical*, 199, 54–65.
79. Thurber, M. R., Bodenhamer-Davis, E., Johnson, M., Chesky, K., & Chandler, C. K. (2010). Effects of heart rate variability coherence biofeedback training and emotional management techniques to decrease music performance anxiety. *Biofeedback*, 38(1), 28–39.
80. Tiller, W. A., McCraty, R., & Atkinson, M. (1996). Cardiac coherence: A new, noninvasive measure of autonomic nervous system order. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, 2(1), 52–65.
81. Todder, D., Levine, J., Abujumah, A., Mater, M., Cohen, H., & Kaplan, Z. (2012). The quantitative electroencephalogram and the low-resolution electrical tomographic analysis in posttraumatic stress disorder. *Clinical EEG and neuroscience*, 43(1), 48–53.
82. Toll, R. T., Wu, W., Naparstek, S., Zhang, Y., Narayan, M., Patenaude, B., De Los Angeles, C., Sarhadi, K., Anicetti, N., Longwell, P., Shpigel, E., Wright, R., Newman, J., Gonzalez, B., Hart, R., Mann, S., Abu-Amara, D., Sarhadi, K., Cornelissen, C., ... Etkin, A. (2020). An Electroencephalography Connectomic Profile of Posttraumatic Stress Disorder. *American Journal of Psychiatry*, 177(3), 233–243.
83. Vaccarino, V., & Bremner, J. D. (2024). Stress and cardiovascular disease: an update. *Nature reviews. Cardiology*, 21(9), 603–616.
84. Valenza, G., Matic, Z., & Catrambone, V. (2025). The brain-heart axis: integrative cooperation of neural, mechanical and biochemical pathways. *Nature reviews. Cardiology*, 22(8), 537–550.
85. Wang, S. J., Bytyçi, A., Izeti, S., Kallaba, M., Rushiti, F., Montgomery, E., & Modvig, J. (2016). A novel bio-psycho-social approach for rehabilitation of traumatized victims of torture and war in the post-conflict context: A pilot randomized controlled trial in Kosovo. *Conflict and Health*, 10(34), 1–17.
86. Weltman, G., Lamon, J., Freedy, E., & Chartrand, D. (2014). Police department personnel stress resilience training: an institutional case study. *Global Advances in Health and Medicine*, 3(2), 72–79.
87. Xu, S., Scott, K., Manshahi, F., & Chen, J. (2024). Heart-brain connection: how can heartbeats shape our minds? *Matter*, 7(5), 1684–1687.
88. Zhang, J. X., Harper, R. M., & Frysinger, R. C. (1986). Respiratory modulation of neuronal discharge in the central nucleus of the amygdala during sleep and waking states. *Experimental Neurology*, 91, 193–207.
89. Zhang, Y., Wu, W., Toll, R. T., Naparstek, S., Maron-Katz, A., Watts, M., Gordon, J., Jeong, J., Astolfi, L., Shpigel, E., Longwell, P., Sarhadi, K., El-Said, D., Li, Y., Cooper, C., Chin-Fatt, C., Arns, M., Goodkind, M. S., Trivedi, M. H., Marmar, C. R., ... Etkin, A. (2021). Identification of psychiatric disorder subtypes from functional connectivity patterns in resting-state electroencephalography. *Nature biomedical engineering*, 5(4), 309–323.