

УДК 612.17

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО БИОУПРАВЛЕНИЯ

© 2014 г. <sup>1</sup>Д. Б. Дёмин, <sup>1, 2</sup>Л. В. Поскотинова

<sup>1</sup>Институт физиологии природных адаптаций Уральского отделения РАН,  
<sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М. В. Ломоносова, г. Архангельск

### Концепция метода биоуправления

Методы функционального биоуправления, базирующиеся на принципах биологической обратной связи (БОС), в настоящее время активно используются как в медицине, так и в различных психокоррекционных и личностно-развивающих практиках. Термин «биологическая обратная связь» был введён для описания «нового вида» обратной связи более 30 лет назад [26]. Биоуправление — это комплекс идей, методов и технологий, направленных на развитие и совершенствование механизмов саморегуляции физиологических функций при различных состояниях и в целях личностного роста [4]. В основу метода положены кибернетические представления о механизмах регуляции и управления систем посредством обратной связи. Известно, что обработка информации и обратная связь являются основными вопросами кибернетики, одним из принципов которой является представление о том, что невозможно управлять процессом, не имея информации о состоянии переменных (обратной связи). Другой принцип кибернетики — наличие обратной связи — делает возможным обучение. Обратная связь выступает в виде позитивной или негативной информации о поведении субъекта [51]. Возможность качественно и количественно учесть изменения физиологических функций и качественно оценить собственную деятельность, направленную на изменение этих функций, делает БОС уникальным методом управления физиологическими системами организма человека. При этом происходит создание новых временных связей в коре головного мозга, что приводит к оптимизации функционального состояния организма [8].

Психофизиологическая сущность метода адаптивного биоуправления состоит в организации на основе биологической обратной связи от того или иного физиологического параметра дополнительного сенсорно-когнитивного контроля над физиологическим процессом с последующей выработкой ассоциативного произвольного регулирования конкретной функции организма по принципу оперантного обучения [26]. Сочетание мышечного расслабления и высокой степени контроля сознания, концентрации внимания, активной работы воображения, значительных волевых усилий принципиально отличают этот метод от других релаксационных психотерапевтических процедур, таких как аутогенная тренировка, прогрессивная мышечная релаксация, медитация [7]. В отличие от классической аутогенной тренировки, при которой результаты самовоздействия улавливаются только субъективно с помощью самонаблюдения и ощущений, при адаптивном биоуправлении результаты объективизированы и представляются пациенту в визуальной или акустической форме с помощью специальных устройств. По этой информации и происходит регуляция функции или её пара-

В обзоре определяется и рассматривается сущность методов функционального биоуправления, приводится историко-научный аспект и основные гипотезы, объясняющие механизмы формирования биологических обратных связей. Обсуждаются различные способы и методы биоуправления, а также сферы применения активно развивающихся технологий биоуправления. Акцент делается на физиологических механизмах и перспективах развития методов биоуправления параметрами ритма сердца.

**Ключевые слова:** методы функционального биоуправления, механизмы формирования биоуправления, вариабельность сердечного ритма

метров, авторы [26, 32] показали, что использование таких устройств существенно усиливает корректирующее действие приёмов аутогенной тренировки и повышает возможности саморегуляции психических и вегетативных функций организма. Иными словами, физиологическая основа биоуправления — это подача количественно измеряемой информации, которая сопоставляется с текущим состоянием человека в последовательные промежутки времени [4].

Можно выделить три определяющих характеристики технологии биоуправления: 1) прогрессивная технология научного исследования; 2) основа внутреннего совершенствования духовных и физических качеств; 3) органичный комплекс лечебных, реабилитационных и прогнозирующих процедур [32]. В реальности эти характеристики тесно переплетены в практике применения БОС-технологий в различных областях деятельности человека. С помощью БОС решаются вопросы совершенствования нормальных и немедикаментозной коррекций нарушенных функций организма путём целенаправленной активации резервных возможностей организма. Биоуправление как часть поведенческой терапии позволяет обучиться управлению физиологическими функциями, чтобы произвольно влиять на сердечную деятельность, вагусную активность, параметры дыхания, температуру, секрецию желёз, сон и бодрствование, психоэмоциональное состояние [33]. Увеличение информационных, психоэмоциональных перегрузок в процессе деятельности человека, нарастающая гиподинамия приводят к вегетативному дисбалансу. Обучение с детского возраста управлению функциональным состоянием своего организма посредством БОС будет способствовать личности в последующем более эффективно справляться со стрессовыми воздействиями, используя энергосохраняющие стратегии. Именно обратные связи определяют устойчивость организма к внешним воздействиям, постоянство и стабильность функций его органов и систем [26].

#### **Гипотезы и физиологические механизмы формирования обратных связей**

Принцип адаптивного биоуправления как эффект, лежащий в основе саморегуляции, наиболее активно стал изучаться в 60–70-е годы XX века [4, 26]. Этот метод основывается на теоретических представлениях и концепциях отечественных учёных: Анохина П. К. о роли полезного результата в формировании функциональных систем, Бехтерева Н. П. о роли гибких и жёстких звеньев мозговых систем обеспечения психической деятельности. Однако общебиологические закономерности биоуправления были выявлены на основании законов классического обусловливания по Павлову И. П. и оперантному обусловливанию по Скиннеру Б. Классическое обусловливание по Павлову И. П. является главным способом, посредством которого события окружающей среды оказывают запланированное влияние на наше развитие

и поведение [30]. Ключевое отличие оперантного обусловливания от классического состоит в том, что в случае оперантного обусловливания живой организм своим поведением активно воздействует на окружающую среду и сталкивается с теми или иными последствиями. То есть своими действиями (оперантами) он формирует будущее (последствия), в то время как классическое обусловливание — это закреплённая реакция на прошлый опыт [26]. Поэтому у человека реализация обратной связи от физиологических показателей в большей степени проходит по законам оперантного обусловливания (активный поиск оптимального собственного состояния и закрепление положительного результата-последствия). Тем не менее именно в рамках парадигмы условных рефлексов по Павлову И. П. в эксперименте установлено, что обусловленное снижение частоты сердечных сокращений (ЧСС) у кроликов и голубей ассоциировано с биоэлектрической активностью миндалины головного мозга. Повреждение центрального ядра миндалины ослабляет обученную брадикардию [39], повреждения гиппокампа и неокортекса ослабляют обусловленную брадикардию у кроликов. Также при эксперименте с участием кроликов доказано вовлечение передней поясной коры и перегородки в обусловливание ЧСС [48]. Однако эффекты классического обусловливания изменения ЧСС, по-видимому, видоспецифичны, так как у других животных (например, у птиц) не доказано участие перегородки и гиппокампа в обусловливание ЧСС [цит. по 26].

Различают две основные разновидности биологических обратных связей: прямую и непрямую. «Прямая» БОС осуществляется при данном функциональном состоянии и является основным его проявлением (например, по уровню артериального давления при гипертонической болезни), «непрямая» БОС — по показателям, изменение которых не является специфичным для данного психофизиологического статуса [4].

Биоуправление можно рассматривать как ветвь поведенческой терапии, целью которой является регуляция психофизиологического состояния, в том числе здорового человека, в условиях эмоционально напряжённой деятельности. Это метод управления произвольными процессами организма, контролируемые вегетативной нервной системой, при котором снижение уровня эмоционального стресса выступает в качестве полезного приспособительного результата, определяющего деятельность функциональных систем, сформированных для его достижения [26, 32]. С точки зрения теории функциональных систем обратные связи представляют собой сложное функциональное образование, включающее сигналы с периферии от результатов действия и его параметров, параметров функционирования систем и гомеостаза, а также оценки этих сигналов в аппарате сличения — акцепторе результата действия. Оценка осуществляется в нейрональных структурах путём сравнения полученных сигналов с эталонами (моделями), хранящимися

в кратковременной и оперативной памяти. При этом происходят явления согласования (при сравнении с эталоном) или рассогласования (при несовпадении) и, как следствие, закрепление данной функциональной системы или её переформирование.

Пути передачи условного зрительного сигнала являются вызванными обучением модификациями разрядов на условный сигнал во время обусловливания ЧСС. Эти «изменяемые» нейроны получают информацию безусловного сигнала и потом «модифицируют» свою активность в соответствии с природой условного сигнала. Эти изменения обнаружены в голубом пятне — *n. coeruleus* (часть ретикулярной формации ромбовидной ямки ствола головного мозга на уровне моста, где сосредоточены в основном норадренергические нейроны) [цит. по: 26]. Регистрация активности отдельных вагусных преганглионарных и симпатических постганглионарных сердечных нейронов показала, что сердечные мотонейроны изначально реагируют на условный сигнал, и обусловливание увеличивает вероятность появления и величину вызванного условным сигналом ответа [40].

Показана принципиальная разница между ответами, возникающими в работе структур головного мозга при биоуправлении и при различных релаксационных методиках. Так, использование метода позитронно-эмиссионной томографии позволило определить различия в активности тех или иных зон головного мозга у людей при обычной релаксации и при реализации эффекта БОС на примере управления параметрами электрокожного сопротивления с целью снижения симпатической активности. У добровольцев простая релаксация была связана со значительным увеличением активности левой передней поясной области коры и подкорковых ядер бледного шара. Релаксация с БОС ассоциирована была с расширением активности передней поясной области и червя мозжечка [37].

Доказано, что обучение управлению несколькими физиологическими параметрами достигается быстрее, чем одним, и вызывает более значительные и стойкие изменения гомеостаза [36]. Поведение висцеральных систем — закономерность их деятельности. Каждая висцеральная система может функционировать автономно, обладая своим эндогенным биоритмом, который диктуется в первую очередь сегментарной внутриорганный метасимпатической нервной системой. Синхронизация деятельности нескольких висцеральных систем осуществляется главным образом структурами лимбической системы, а модуляция обеспечивается через симпатическую и парасимпатическую ветви вегетативной нервной системы и нейрогуморальные механизмы (семейство опиоидных пептидов) [5].

Иерархические взаимоотношения между корой головного мозга, лимбической системой, ретикулярной формацией и отдельными висцеральными системами также носят циклический характер. Особая роль в этом процессе принадлежит коре больших полуша-

рий, где имеются афферентные представительства висцеральных систем, что доказывает возможность торможения или возбуждения вегетативных функций при посредстве корковых образований. Известно, что церебральные механизмы модулируют сенсорные входы путём торможения или облегчения сенсорной передачи от рецепторов к корковым уровням. При этом важную роль в механизмах центростремительного контроля сенсорных процессов играет ретикулярная формация ствола мозга. Так как в ретикулярной формации конвергируют очень много афферентов висцеральных систем, возможно, что её автономная активность тоже служит модулятором сенсорных входов [24].

Такие глубокие изменения корково-висцеральных взаимоотношений могут возникать только при генерации уникального и в чём-то парадоксального сочетания коркового и лимбического уровней, отражающего повышение активности коры при одновременном снижении уровня активности подкорковых систем, повышении перцептуальной осознанности и одновременном понижении эмоционального напряжения и стресса. Методы БОС применимы к регуляции биоритмических физиологических процессов. Применение этих методик приводит к реорганизации механизмов регуляции ряда функций, поломке их патологических взаимосвязей (жестких связей) и возникновению новых слабых связей между отдельными висцеральными системами. В период сеанса БОС появляются гибкие функциональные взаимоотношения между системами, на основе которых возникает новая стабильная интеграция висцеральных систем [26].

Согласно гипотезе о программировании действий базальные ядра и лобная кора головного мозга являются составными частями петли обратной связи. Базальные ядра получают информацию от коры больших полушарий, затем передают сигналы через таламус в префронтальную, премоторную и моторную кору, а также в ствол мозга. Действие базальных ганглиев на таламус моделируется двумя параллельными путями («прямым» и «непрямым»), начинающимися в стриатуме, которые оказывают тормозное или возбуждающее действие на таламические ядра [23].

Эффективность БОС-регуляции, по-видимому, связана с возможностью прямого доступа к нейронным сетям неокортекса, а также с таким фундаментальным свойством мозга, как пластичность (показана причастность феномена посттетанической потенциации в гиппокампе к механизмам БОС-обучения). Биоуправление облегчает восстановление и поддержание гомеостаза на многих уровнях, включая баланс симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, поддерживает межполушарную симметричность функциональной специализации структур головного мозга. БОС-терапия стабилизирует баланс между нервной и висцеральными системами, тем самым влияя на физические, эмоциональные, интеллектуальные и социальные процессы, обеспечивая

оптимальное использование всех возможностей индивида [32].

#### Технологии и методы биоуправления

С целью регуляции психофизиологического состояния организма принцип БОС был впервые применён к так называемым непроизвольным реакциям — частоте сердечных сокращений, электрической активности мозга, параметрам электропроводности и температуры кожи [32]. Было показано, что в результате таких тренировок человек, получая информацию об этих «непроизвольных» физиологических реакциях, может научиться их регулировать [54]. Показано, что с помощью БОС можно достигнуть, например, произвольного повышения или понижения ЧСС, увеличить или уменьшить артериальное давление (АД) [29].

Целевым параметром в причинно-следственной цепи физиологических регуляций с использованием принципа БОС может стать любое звено. Так, замедление сердечного ритма может служить механизмом, обеспечивающим произвольное снижение АД, но это же замедление может стать и предметом саморегуляции, и тогда, наоборот, повышение давления (благодаря деятельности синокаротидных рецепторов) отражается на механизмах замедления ритма [45].

Электроэнцефалографическое (ЭЭГ) биоуправление основано на предъявлении пациенту собственных биоэлектрических потенциалов мозга для обучения их произвольной регуляции и контроля соответствующего доминирующему ритму психического состояния [32]. Данный вид БОС чаще используется для подавления тета-ритма и выработки навыков управления альфа- и бета-ритмами [28] и успешно применяется для профилактики и лечения инсультов [31], но требует использования специальных технических устройств и уязвим к воздействию различного рода помех.

Метод кожно-температурного биоуправления заключается в измерении небольших флюктуаций температуры на поверхности кожи и предъявлении этой информации обследуемому, в основе лежит факт сужения кровеносных сосудов в состоянии возбуждения (особенно сосудов конечностей) и их расширения при релаксации, что применяется для обучения релаксации при лечении мигрени [36].

В основе метода электрокожной обратной связи лежит регистрация электрической активности различных участков кожи. Может использоваться несколько видов параметров: кожно-гальваническая реакция, реакция кожной проводимости, реакция кожного сопротивления, уровень кожной проводимости или уровень кожного сопротивления. Данный метод применяется при релаксации в стрессовых ситуациях, а также для изменения уровня активации центральной нервной системы (ЦНС) [25].

Одним из используемых методов является электромиографическая БОС, когда усиленный потенциал мышцы или группы мышц предъявляется в виде светового или звукового сигнала. Имеются сведения

об эффективности применения данного вида биоуправления для коррекции плоскостопия и лечения сколиоза [18].

Большое распространение получили БОС-тренинги по кардиореспираторным показателям [42, 45, 46, 55]. В основе их лежат особенности дыхательной системы как системы, наиболее податливой волевому контролю [54]. При помощи электрических, механических или плетизмографических датчиков регистрируется ЧСС, которую, используя принцип БОС, обследуемый может произвольно увеличивать или уменьшать [27]. Изучается возможность применения данного вида БОС для лечения сердечных аритмий [29].

Возможно использование и полимодальных параметров. Полифункциональная БОС является методикой, позволяющей научиться изменению порогов сенсорного восприятия, эмоциональных, болевых ощущений и другим субъективным перцептуальным сдвигам. На практике часто используется работа с электрофизиологическими эквивалентами нескольких параметров, например одновременное управление электрическим сопротивлением и температурой кожи или электромиограммой мышц головы и ритмами ЭЭГ [31]. В качестве управляемых параметров релаксации с БОС используются в различных сочетаниях ритмы ЭЭГ, ритмы дыхания и сердечных сокращений, электрическое сопротивление кожи, параметры электромиограммы. Одним из аспектов многопараметрического биоуправления с прямым выходом в клинику является возможность достижения физиологических состояний, сходных с таковыми при прогрессивной мышечной релаксации, медитации, занятиях аутотренингом, йогой и подобными методиками. Во время сеансов комплексно паттернированной БОС отмечается значительное понижение многих физиологических показателей — ЧСС, АД, дыхания, мышечного тонуса, активности потовых желез, а также повышение температуры тела, увеличение альфа-ритма на ЭЭГ и соответствующие колебания других характеристик метаболизма организма [36].

Следует особо подчеркнуть, что биоуправление — это достаточно мощная технология, которая в настоящее время активно используется при лечении различных заболеваний. Например, показана очень высокая эффективность этой технологии и отсутствие побочных эффектов и осложнений при лечении и реабилитации больных, перенесших травмы головы и инсульты [31]. Хорошие результаты получены при лечении различного рода болей, аддикций и вегетативных дисфункций [19, 33].

Хорошие результаты получены при использовании биоуправления в спортивной медицине для тренировки состояния «пика формы» — сосредоточения и концентрации максимальных физических, интеллектуальных и эмоциональных качеств в точке исполнения, обеспечивающих достижение успеха в различных видах деятельности. Этого не всегда удаётся достичь обычными методами тренировки. Например, у спорт-

сменов эта технология помогает повышать успешность соревновательной деятельности, тренировок, улучшать состояние эмоционально-мотивационной сферы, увеличивать рост спортивного мастерства, также она может применяться для повышения качества труда операторов [28].

При возрастающих школьных нагрузках даже обладающий достаточно развитым интеллектом подросток может испытывать сложности при обучении, совершать большое количество ошибок и в итоге иметь значительно более скромные результаты учебной деятельности, чем мог бы при более успешной адаптации к учебной деятельности. Помочь ученику эффективно социализироваться, адаптироваться в ситуации школьного обучения можно с помощью оздоровительных уроков с применением игрового биоуправления. В результате у подростков значительно повышается качество социальных взаимодействий, улучшается внимание, они становятся более адаптированными к школе [6]. Приводятся данные о том, что участие в тренинге игрового биоуправления, организованном по кардиоинтервалограмме, значительно повышает способность к концентрации внимания, усидчивость, самооценку, мотивацию к обучению, снижает уровень тревожности [47].

БОС-тренинги могут быть использованы как нефармакологический метод коррекции работы мозга при обнаружении различного рода проблем, например связанных с синдромом дефицита внимания [17]. Показано, что этот метод позволяет значительно улучшить состояние и поведение таких детей, облегчает их социализацию, повышает школьную успеваемость [23].

Кроме того, БОС-тренинг может также использоваться как технология биотехнической нейрокоммуникации, например, как интерфейсы мозг-компьютер для пациентов, не владеющих собственным мышечным аппаратом (системы зависимой от ЭЭГ буквопечати и управления инвалидным креслом) или оздоровительного брэнифитнеса для тренировки функциональных возможностей [15].

Разработаны новые принципы биоуправляемой хронофизиотерапии [9]. Их суть заключается в восстановлении временной гармонии и устойчивости регуляторных систем организма. Методы биоуправляемой хронофизиотерапии отличаются от традиционных тем, что позволяют оперативно учитывать индивидуальные биоритмологические особенности пациента и дозировать физиотерапевтическое воздействие путем модуляции его интенсивности и синхронизации в такт с этими ритмами.

Успешность БОС-тренинга подразумевает количественную оценку сдвига регулируемого параметра в заданном направлении [12, 29]. В результате БОС-тренинга организм переходит на новый уровень оптимального функционирования. Оптимальное функционирование — психофизиологический феномен, формирующийся на основе biofeedback technology, обеспечивающий эффективное «перемещение» в

любое состояние, требующее выполнения задания при непредсказуемом исходе, минимальном времени принятия альтернативного решения, гармоничном сочетании внутримозговой нейродинамики и поведенческого паттерна [32]. Показано, что о новом алгоритме функционирования регуляторных систем возможно судить только после 3–4-го сеанса БОС-тренинга [26], а оптимальное количество сеансов достигает 10–15 процедур и более.

Проводилась проверка гипотезы о зависимости успешности управления тонусом церебральных сосудов с биологической обратной связью от индивидуальных нейрофизиологических особенностей человека. Показано наличие межгрупповых различий по выраженности гипертимности, амплитуды дельта-активности и индекса мощности дельта- и альфа-ритмов, а также амплитуды волн когнитивных вызванных потенциалов. Сделано предположение об общности механизмов различных видов биоуправления с обратной связью, заключающихся в изменении уровня функциональных лимбических структур [12].

Показано, что тип стратегии саморегуляции произвольных функций человека и его взаимосвязь с личностными особенностями человека является достаточно устойчивой характеристикой. Тем не менее наблюдается положительная динамика саморегуляции в режиме биоуправления и результат, полученный в ходе тренинга, сохраняется длительное время [22].

#### **Перспективы развития методов биоуправления параметрами ритма сердца**

Сердечный ритм, наряду с другими физиологическими показателями, характеризуется сложной конфигурацией variability, представленной различными частотными составляющими [1, 45]. Предположительно данные ритмы относятся к числу систем, поддерживающих сердечно-сосудистую активность и физиологическую адаптацию в целом [54]. Ряд работ посвящён одному из колебательных механизмов в сердечном ритме, которым является респираторная синусовая аритмия — вариация ритма, сопровождающая дыхательный цикл (ЧСС возрастает на вдохе и снижается на выдохе) [35, 45]. Частота респираторно обусловленных колебаний в сердечном ритме представлена «высокочастотными» (0,15–0,4 Гц) и «низкочастотными» (0,05–0,15 Гц) компонентами.

Распространённым методическим подходом является использование показателя ритма сердца, в том числе и респираторной синусовой аритмии, как информативного признака баланса между парасимпатическим и симпатическим тонусом. Считается, что сдвиги variability сердечного ритма могут служить не только ранними признаками риска развития сердечно-сосудистых расстройств, но и критериями нервно-психического напряжения [5]. Таким образом, модификация ритма может быть ключом к управлению функциональным состоянием организма.

Проведенные рядом авторов исследования показали, что с помощью техники биоуправления можно добиваться увеличения респираторной синусовой аритмии, что позволяет перейти к таким типам дыхания, при которых возникает резонанс между ритмами, связанными с барорефлекторной деятельностью («низкочастотные» колебания) и сердечными ритмами, связанными с дыханием («высокочастотные» колебания или собственно респираторная синусовая аритмия), что приводит к увеличению интенсивности барорефлексов; одновременно увеличивается их эффективность и, следовательно, модуляция автономной активности [35, 57]. Есть мнение, что человек способен достигать наибольших амплитуд лишь на определённых заданных частотах в указанных пределах, с центром примерно 0,1 Гц (6 колебаний в минуту), при ритме дыхания около 6 раз в минуту. Такая частота дыхания может запускать достаточно высокие амплитуды респираторной синусовой аритмии, что может достаточно легко достигаться путём БОС-тренинга.

Дыхание — функция в значительной степени кортикализованная [24]. Это проявляется в способности человека произвольно управлять дыхательными движениями, что создаёт уникальный вход во внутреннюю среду организма. Однако в том случае, когда произвольные изменения легочной вентиляции или её задержка оказываются несовместимыми с требованиями метаболизма, произвольные сокращения респираторных мышц и соответствующая сигнализация из их проприорецепторов создают императивный стимул, выводящий дыхание из-под поведенческого контроля. Оказалось, что этот защитный механизм включает активацию ряда структур ЦНС, в том числе определённых зон коры и лимбической системы. Паттерн дыхания тесно связан с функциональным состоянием ЦНС. Управляя дыханием, удаётся воспроизводить релаксацию либо готовность организма к активной деятельности. Управление в основных контурах дыхательной системы производится по отклонению регулируемых переменных от заданных значений. Сознательное регулирование акта дыхания осуществляется посредством высшего отдела нервной системы — коры больших полушарий головного мозга. Влияние коры больших полушарий мозга на дыхательные движения выражается в возможности произвольно прерывать (в известных пределах напряжения  $\text{CO}_2$  в артериальной крови) дыхательные движения и изменять их характер [цит. по 20, 24].

С учетом того, что дыхание сопряжено с деятельностью сердечно-сосудистой системы [46], предложены различные виды биоуправления по дыхательной аритмии сердца. Так, для коррекции вегетативных дисфункций применён знакопеременный БОС-тренинг по кардиоинтервалограмме [29].

Наилучший эффект и индивидуальная зависимость выявляются при использовании методики альтернативного биоуправления, ориентированного не про-

сто на однонаправленное изменение текущей ЧСС, а на усиление или ослабление выраженности волн разного периода в кардиоинтервалограмме. В этом случае идёт направленная модификация отдельных контуров центральных механизмов регуляции ЧСС. Так как система регуляции ЧСС определяется совместно двумя отделами вегетативной нервной системы, БОС-регуляция по кардиоинтервалам содержит информацию о смешанном эффекте симпатических и парасимпатических влияний. В обусловленные хронотропные изменения ЧСС обычно вовлекаются синергические действия симпатической и парасимпатической сердечной иннервации [цит. по 26]. Показано, что передние отделы правого полушария мозга доминируют в сердечно-сосудистой афферентации при произвольной регуляции ЧСС [7].

В работах же, посвящённых ЭЭГ-биоуправлению, были показаны обратные влияния на показатели автономной регуляции когнитивных функций. Так, у пациентов с генерализованной тревожностью после 8–12 сессий тренинга увеличения мощности альфа-волн с помощью нейробиоуправления кардиоинтервалы удлинялись, реактивность пульса на стресс снижалась, этот эффект сопровождался снижением тревожности [51]. Биоуправление же, направленное на снижение альфа-мощности, не изменяло реактивности ритма сердца на стрессорные стимулы [51]. После проведения курса тренингов произвольного увеличения альфа-мощности ЭЭГ другими авторами [2] было выявлено, что у здоровых испытуемых с исходно низкой частотой альфа-ритма ЭЭГ увеличивается уровень альфа-активности в состоянии покоя, улучшается выполнение когнитивных задач, снижается психоэмоциональное напряжение и увеличивается вариабельность сердечного ритма (ВСР). У лиц с исходно высокой частотой альфа-ритма его мощность в покое и характеристики когнитивной эффективности не изменяются после курса биоуправления, а показатели ВСР снижаются.

Установлено, что БОС-тренинг по ЧСС наиболее эффективен в отношении лиц с высокой личностной и ситуативной тревожностью [44]. Весьма распространён метод кардиотренинга с целью урежения ЧСС [6, 22]. При этом изменения показателей ВСР свидетельствуют о разнонаправленных вариантах соотношения симпатических и парасимпатических звеньев вегетативной регуляции ритма сердца. Акцент в таких работах делается в большей степени на социальный эффект биоуправления (успешность обучения, социальная адаптация), а не на результат направленного усиления вагусных либо симпатических влияний на ритм сердца. Показана значимость успешности биоуправления по ЧСС и по показателю суммарной мощности спектра ВСР от свойств темперамента (эмоциональность, тревожность, темп, пластичность) [22].

Широко используется обратная связь по параметрам кардиоритма у лиц с артериальной гипертензией,

где в качестве управляемого параметра применяется показатель соотношения ЧСС и дыхания. Установлено, что после данной немедикаментозной коррекции гипертензивных состояний оптимизируется соотношение ЧСС и дыхания, снижается АД и улучшается психоэмоциональный фон [19].

Биоуправление по статистическим параметрам позволяет более целенаправленно отслеживать состояние вегетативного тонуса во время и после БОС-тренинга [53]. Так, использовалась оценка эффективности кардиотренинга по среднеквадратичному отклонению кардиоинтервала, степени энтропии разности между исходным и регулируемым параметром. В результате такого тренинга наблюдалось уменьшение проявлений синдрома вегетативной дистонии, логоневроза, нарушений памяти и внимания [3]. При таком виде тренинга, несмотря на повышение общей мощности спектра ВСП, соотношение спектральных показателей свидетельствует о сохранении достаточно высокой симпатической активности [3]. По-видимому, оценка спектральных показателей ВСП при нестационарном процессе даёт неоднозначные результаты в оценке соотношения симпатических и парасимпатических механизмов [5].

Однократное проведение сеанса релаксации с биологической обратной связью по индексу напряжения регуляторных систем показало отчётливую тенденцию к повышению устойчивости обследуемых к эмоциональному стрессу. Разработанные личностные и психофизиологические критерии стрессустойчивости, положенные в основу выделения групп «гиперреакция» и «гипореакция», позволяют определять индивидуальные показания к практическому использованию адаптивного биоуправления параметрами ВСП и прогнозировать его эффективность [13]. В целом однократный сеанс биоуправления расценивается как тест для определения адаптивных возможностей человека [49].

Одни из основоположников метода биоуправления параметрами ритма сердца Paul Lehrer и Evgeny Vaschillo продемонстрировали эффективность управления параметрами variability ритма сердца (HRV biofeedback) с целью усиления суммарной мощности сердца, что отражало активизацию вагусных влияний на ритм сердца. При этом важно было с целью активизации барорефлексов добиться усиления низкочастотной (LF — low frequency) составляющей спектра ВСП, которая с физиологических позиций является отражением как вагусных, так и симпатических влияний на ритм сердца. Наиболее успешно такой эффект достигался при более медленном дыхании, в результате сеансов биоуправления наблюдалось улучшение параметров внешнего дыхания у здоровых добровольцев [45].

Использование метода БОС на определённых частотах ВСП возможно для изучения выраженности барорефлекторных механизмов. При тренинге на урежение и учащение ЧСС самые высокие амплитуды

колебаний были произведены в диапазоне 0,05—0,11 Гц для ЧСС и 0,02—0,05 Гц для АД. Они были расценены как резонансные частоты колебательных процессов сердечно-сосудистой системы. Метод БОС также позволил авторам определить количественные характеристики чувствительности барорефлекторной системы, в том числе при лечении лиц с бронхиальной астмой [46, 54].

Вариабельность сердечного ритма может служить вегетативным индикатором саморегуляции когнитивных и психоэмоциональных процессов [50], так, отмечается снижение показателей ВСП при депрессивных состояниях [43] и повышение при когнитивных нагрузках [56]. Увеличение общей variability ритма сердца с помощью БОС благотворно действует на людей с депрессиями [52], мышечными болями различной локализации [41], головной болью [34], психоэмоциональными расстройствами [42, 47]. Несмотря на наличие большой доказательной базы, подтверждающей эффективность БОС по параметрам ритма сердца, остаются открытыми вопросы долговременности эффекта биоуправления, так как успешность биоуправления по параметрам ритма сердца и клиническое улучшение состояния пациента не всегда совпадают по времени [55].

Показатель суммарной мощности спектра ВСП как управляемый параметр представляется перспективным для использования с целью усиления вагусных влияний на ритм сердца. Известно, что при коротких (5 мин) записях данный показатель имеет аналогичный стандартному отклонению кардиоинтервала физиологический смысл — усиление вагусной активности [1]. Показатель суммарной мощности спектра ВСП отражает в основном сумму колебаний высоко-, низко- и сверхнизкочастотных волн классических диапазонов и минимальную долю непериодических волн. В отличие от данного показателя временные параметры общей variability ритма сердца содержат большую долю непериодических волн, обусловленных нестационарностью процесса биоуправления. Поэтому суммарная мощность спектра ВСП при коротких записях представляется нам более чётким в плане оценки вагусных влияний на ритм сердца, особенно если при этом происходит снижение индекса напряжения регуляторных систем [1, 27].

При выполнении исследований, посвящённых определению эффективности метода адаптивного биоуправления, используется обычно следующая последовательность действий: определение значения первичного параметра, выполнение процедуры БОС-тренинга, направленной на его стабилизацию и/или улучшение, определение значения того же параметра после проведения курса процедур. Подобные методы контроля являются внепроцедурными, т. е. оценивают некоторые параметры до и после проведения процедуры или курса процедур. Перспективным направлением контроля качества

БОС-тренинга является возможность оценки динамики неуправляемых параметров во время самой процедуры (внутрипроцедурный метод контроля). Предложенный нами метод биоуправления статистическими и спектральными параметрами ВСР [27] позволяет не только рассматривать клиническую эффективность БОС-тренинга, но и может служить в качестве диагностического маркера для выявления патогенетических механизмов изменения управляемых и неуправляемых физиологических параметров в ходе процедуры биоуправления. В связи с этим была предложена схема диагностики, основанная на анализе данных, получаемых в результате контроля эффективности процедуры биоуправления, что позволяет дать интегративную оценку вегетативной регуляции организма на уровне баланса периферических и центральных структур нервной регуляции сердечной деятельности.

В ходе исследований, проводимых с использованием данного метода БОС-тренинга [27], были установлены различия в реактивности вегетативных структур, биоэлектрической активности головного мозга и показателей реоэнцефалограммы у подростков с учётом климатогеографических условий проживания в приполярном и заполярном районах Европейского Севера [11, 14, 38]. Также учитывались возрастные особенности и факторы внутренней среды организма (эндокринный и иммунологический статус, уровень нейромедиаторов в крови) в успешности и системных эффектах биоуправления [10, 16]. Показана эффективность применения данного метода биоуправления у больных с артериальной гипертензией [21]. Перспективными видятся и дальнейшие исследования с использованием современных методов функциональной нейровизуализации (ЭЭГ высокого разрешения, магнитоэнцефалография, позитронно-эмиссионная томография) с целью определения активационных зон в структурах головного мозга при различных уровнях успешности биоуправления параметрами ритма сердца.

Таким образом, анализ литературы показал, что методы адаптивного биоуправления, основанные на внешней обратной связи, дают возможность получать устойчивые изменения в деятельности различных систем организма, что, в свою очередь, открывает широкие перспективы использования технологий БОС для профилактики функциональных нарушений, а также ряда психосоматических заболеваний путём раскрытия и использования резервов организма.

#### Список литературы

1. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Гаврилушкин А. П. и др. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // Вестник аритмологии. 2002. № 24. С. 65–86.
2. Базанова О. М., Балиоз Н. В., Муравлева К. Б., Скорая М. В. Влияние тренинга произвольного увеличения

альфа-мощности ЭЭГ на variability сердечного ритма // Физиология человека. 2013. Т. 39, № 1. С. 103–116.

3. Бразовская Н. Г. Адаптивное биоуправление на основе биологической обратной связи по динамике параметров сердечного ритма человека : автореф. дис. ... канд. мед. наук. Томск, 2002. 23 с.

4. Василевский Н. Н., Мигаловская Н. А. Метод альтернативного биоуправления с обратными связями и критерии эффективности тренинга // Биоуправление-2: теория и практика. Новосибирск, 1993. С. 65–77.

5. Вегетативные расстройства: клиника, диагностика, лечение / под ред. А. М. Вейна. М. : Медицинское информационное агентство, 2003. 752 с.

6. Гилева О. Б. Способность к саморегуляции в игровом биоуправлении и успешность учащихся 11–13 лет // Бюллетень сибирской медицины. 2013. Т. 12, № 2. С. 141–146.

7. Глазкова В. А., Свидерская Н. Е., Королькова Т. А. Пространственная организация корковой электрической активности при произвольной регуляции частоты сердечных сокращений // Физиология человека. 1996. Т. 22, № 5. С. 104–108.

8. Горев А. С., Панова Е. Н. Эффективность БОС-тренинга регуляции функционального состояния в зависимости от индивидуальных психофизиологических характеристик // Физиология человека. 2009. № 5. С. 25–32.

9. Гуров Ю. В., Загускин С. Л. Иерархия ритмов сердца и новые методы хронодиагностики // Владикавказский медико-биологический вестник. 2010. Т. 10, № 17. С. 13–17.

10. Дёмин Д. Б., Поскотинова Л. В., Кривоногова Е. В. Роль фонового тиреоидного статуса в изменении ЭЭГ подростков при биоуправлении параметрами сердечного ритма // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2011. Т. 97, № 11. С. 1262–1269.

11. Дёмин Д. Б., Поскотинова Л. В., Кривоногова Е. В. Сравнительная оценка изменений структуры ЭЭГ при кардиотренинге у подростков приполярных и заполярных территорий Севера // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2014. Т. 100, № 1. С. 128–138.

12. Долецкий А. Н. Использование нейрофизиологических критериев для прогноза успешности управления тонусом мозговых сосудов с помощью биологической обратной связи // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2005. № 2. С. 8–11.

13. Ефимова Е. А. Применение БОС-тренинга в лечении детей с синдромом вегетативной дисфункции : автореф. дис. ... канд. мед. наук. Пятигорск, 2007. 25 с.

14. Каменченко Е. А., Поскотинова Л. В. Динамика показателей реоэнцефалограммы при биоуправлении параметрами ритма сердца у подростков Заполярья // Экология человека. 2013. № 12. С. 26–32.

15. Каплан А. Я. ЭЭГ как управляющий сигнал: на пути к биотехнической нейрокоммуникации // Биоуправление: теория и практика. Новосибирск, 2010. С. 7–18.

16. Кривоногова Е. В., Поскотинова Л. В., Дёмин Д. Б. Сравнительный анализ структуры ЭЭГ и параметров variability сердечного ритма при БОС-тренинге в зависимости от уровня серотонина в сыворотке крови девушек 15–17 лет // Бюллетень сибирской медицины. 2011. Т. 10, № 4. С. 21–26.

17. Кропотов Ю. Д. Перспективы развития биообратной связи (БОС) при коррекции психических расстройств (на примере синдрома нарушения внимания с гиперактивностью) // Биоуправление: теория и практика. Новосибирск, 2010. С. 44–55.

18. Лаврикова В. И., Кожевникова М. И., Сняков В. С. ЭМГ биологическая обратная связь при лечении сколиоза у детей в режиме статического напряжения // Биоуправление-4: теория и практика. Новосибирск, 2002. С. 178–185.
19. Полякова А. Г., Матвеева В. В. Использование аппаратного биоуправления в комплексном восстановительном лечении пациентов с психовегетативными расстройствами для профилактики развития артериальной гипертензии // Медицинский альманах. 2011. № 3 (16). С. 64–66.
20. Поскотинова Л. В. Вегетативная регуляция ритма сердца и эндокринный статус молодёжи в условиях Европейского Севера России. Екатеринбург : УрО РАН, 2010. 235 с.
21. Поскотинова Л. В., Дёмин Д. Б., Кривоногова Е. В., Диева М. Н., Хасанова Н. М. Успешность биоуправления параметрами variability сердечного ритма у лиц с различным уровнем артериального давления // Вестник Российской академии медицинских наук. 2013. № 7. С. 20–23.
22. Редько Н. Г. Зависимость динамики психовегетативных показателей от темперамента пациентов и особенности организации сеансов биоуправления // Бюллетень сибирской медицины. 2010. № 2. С. 125–128.
23. Рудакова Е. В., Грибанов А. В., Панков М. Н. Возможности БОС-тренинга в коррекции синдрома с гиперактивностью // Вестник Поморского университета. 2007. № 4. С. 86–93.
24. Сафонов В. А., Тарасова Н. Н. Нервная регуляция дыхания // Физиология человека. 2006. Т. 32, № 4. С. 64–76.
25. Синюхин Б. Д., Пирогов А. А., Ерофеев А. И. Методологические аспекты использования КГР в психофизиологических наблюдениях // Научные исследования и разработки в спорте. СПб., 1996. С. 71–87.
26. Сороко С. И., Трубачев В. В. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления. СПб. : ИЭФБ РАН, 2010. 607 с.
27. Способ коррекции вегетативных дисбалансов с помощью комплекса для обработки кардиоинтервалограмм и анализа variability сердечного ритма «Варикард 2.51», работающего под управлением компьютерной программы ISCIM 6.1 (BUILD 2.8), с использованием биологической обратной связи: пат. 2317771 Рос. Федерация / Л. В. Поскотинова, Ю. Н. Семенов ; Институт физиологии природных адаптаций УрО РАН ; опубли. 27.02.2008. Бюл. № 6.
28. Степочкина С. П., Черепкина Л. П., Тристан В. Г. Биоэлектрическая активность головного мозга у спортсменов после курса нейробиоуправления // Бюллетень сибирской медицины. 2010. № 2. С. 83–87.
29. Суворов Н. Б. Функциональное биоуправление ритмом сердца человека: адаптивный модуль // Медицинская техника. 2005. № 2. С. 24–27.
30. Трубачев В. В. Медленные модуляции сердечного ритма при обучении кролика методом биоуправления // Журнал высшей нервной деятельности. 1982. Т. 32, № 1. С. 170–172.
31. Циркин Г. М., Нечаев Е. В., Нечаева Е. Н. Пример применения мультипараметрического биоуправления у пациентов с последствиями тяжёлой черепно-мозговой травмы // Бюллетень сибирской медицины. 2010. № 2. С. 155–156.
32. Штарк М. Б. Скок А. Б. Применение электроэнцефалографического биоуправления в клинической практике // Биоуправление-4: теория и практика. Новосибирск, 2002. С. 9–17.
33. Шубина О. С. Идентичность при наркотической зависимости и её динамика в курсе альфа-стимулирующего биоуправления // Бюллетень сибирской медицины. 2010. № 2. С. 47–52.
34. Andrasic F. Biofeedback in headache: An overview of approaches and evidence // Cleveland Clinic Journal of Medicine. 2010. Vol. 77, Suppl. 3. S. 72–76.
35. Bernardi L., Leuzzi S., Radaelli A. et al. Low frequency spontaneous fluctuations of R–R interval and blood pressure in conscious humans: A baroreceptor of central phenomenon? // Clinical Science. 1994. Vol. 87. P. 647–654.
36. Chapman S. L. A review and clinical perspective on the use of EMG and thermal biofeedback for chronic headaches // Pain. 1986. Vol. 27, N. 1. P. 1–43.
37. Critchley H. D., Melmed R. N., Featherstone E. et al. Brain activity during biofeedback relaxation // Brain. 2001. Vol. 124, N. 5. P. 1003–1012.
38. Demin D. B., Poskotinova L. V., Krivonogova E. V., Grijibovski A. M. Neurophysiological status of adolescents in different latitudes of the Russian North // European Journal of Epidemiology. 2013. Vol. 28, Suppl. 1, S. 129.
39. Frysinger R., Zang J., Harper R. Cardiovascular and respiratory relationship with neuronal discharge in the central nucleus of amygdala during sleep - waking states // Sleep. 1988. Vol. 11, N. 4. P. 317–332.
40. Gold M., Cohen D. The discharge characteristics of vagal cardiac neurons during classically conditioned heart rate change // The Journal of Neurosciences. 1984. Vol. 4, N. 12. P. 2963–2971.
41. Hallman D. M., Olsson E. M., Von Scheele B. et al. Effects of heart rate variability biofeedback in subjects with stress – related chronic neck pain: a pilot study // Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2011. Vol. 36, N. 2. P. 71–80.
42. Henriques G., Keffer S., Abrahamson C., Horst S. Exploring the effectiveness of a computer - based heart rate variability biofeedback program in reducing anxiety in college students // Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2011. Vol. 36, N. 2. P. 101–112.
43. Kemp A. H., Quintana D. S., Gray M. A. et al. Impact of depression and antidepressant treatment on heart rate variability: a review and meta-analysis // Biol. Psychiatry. 2010. Vol. 67, N. 11. P. 1067.
44. Kotani K., Takamasu K., Tachibana M. Respiratory - phase domain analysis of heart rate variability can accurately estimate cardiac vagal activity during a mental arithmetic task // Methods. Inf. Med. 2007. Vol. 46, N. 3. P. 376–385.
45. Lehrer P. M., Vaschillo E., Vaschillo B. et al. Heart Rate Variability Biofeedback Increases Baroreflex Gain and Peak Expiratory Flow // Psychosomatic Medicine. 2003. Vol. 65. P. 796–805.
46. Lehrer P. M., Vaschillo E., Vaschillo B. et al. Biofeedback Treatment for Asthma // Chest. 2004. Vol. 126. P. 352–361.
47. Nada P. J. Heart rate variability in the assessment and biofeedback training of common mental health problems in children // Med. Arh. 2009. Vol. 63, N. 5. P. 244–248.
48. Powell D., Chachich M., Murphy V. Amigdala - prefrontal interactions and conditioned bradycardia in the rabbit // Behav. Neurosci. 1997. Vol. 111. P. 1056–1074.
49. Prinsloo G. E., Laurie Rauch H. G., Lambert M. I. et al. The effect of short duration heart rate variability (HRV) biofeedback on cognitive performance during laboratory induced cognitive stress // Applied Cognitive Psychology. 2011. Vol. 25, N 5. P. 792–801.
50. Reynard A., Gevirtz R., Berlow R. et al. Heart rate

variability as a marker of self-regulation // Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2011. Vol. 36, N 3. P. 209.

51. Rice K. M., Blanchard E. B., Purcell M. Biofeedback treatments of Generalized Anxiety Disorder: Preliminary results // Biofeedback and Self-Regulation. 1993. Vol. 18, N 2. P. 93.

52. Siepmann M., Aykac V., Unterdorfer J. et al. A pilot study on the effects of heart rate variability biofeedback in patients with depression and in healthy subjects // Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2008. Vol. 33, N 4. P. 195–201.

53. Sigafus P. Heart Rate Variability Biofeedback and Mindfulness: A Functional Neuroimaging Study // Cleveland Clinic Journal of Medicine. 2011. Vol. 78, Suppl. 1. S. 102.

54. Vaschillo E., Lehrer P., Rishé N., Konstantinov M. Heart Rate Variability Biofeedback as a Method for Assessing Baroreflex Function: A Preliminary Study of Resonance in the Cardiovascular System // Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2002. Vol. 27, N 1. P. 1–27.

55. Wheat A. L., Larkin K. T. Biofeedback of heart rate variability and related physiology: a critical review // Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2010. Vol. 35, N 3. P. 229–242.

56. Yu X., Zhang J., Xie D. et al. Relationship between scalp potential and autonomic nervous activity during a mental arithmetic task // Auton. Neurosci. 2009. Vol. 146, N 1. P. 81.

57. Zucker T., Samuelson K., Muench F. et al. The effects of respiratory sinus arrhythmia biofeedback on heart rate variability and posttraumatic stress disorder symptoms: A pilot study // Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2009. Vol. 34. P. 135–143.

#### References

1. Baevskii R. M., Ivanov G. G., Gavrilushkin A. P. i dr. Analysis of heart rate variability using different electrocardiographic systems (guidelines). *Vestnik aritmologii* [Bulletin of Arrhythmology]. 2002, 24, pp. 65–86. [in Russian]

2. Bazanova O. M., Balioz N. V., Muravleva K. B., Skoraya M. V. Voluntary alpha-power increasing training impact on the heart rate variability. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 2013, 39 (1), pp. 103–116. [in Russian]

3. Brazovskaya N. G. *Adaptivnoe bioupravlenie na osnove biologicheskoi obratnoi svyazi po dinamike parametrov serdechnogo ritma cheloveka. Avtoref. kand. diss.* [Adaptive biofeedback based on heart rate variability biofeedback in human. Author's Abstract of Cand. Diss.]. Tomsk, 2002, 23 p.

4. Vasilevskii H. H., Migalovskaya H. A. Metod al'ternativnogo bioupravleniya s obratnymi svyazyami i kriterii effektivnosti treninga [Alternative biofeedback method and effectiveness criteria of the training]. In: *Bioupravlenie-2: teoriya i praktika* [Biofeedback-2: Theory and Practice]. Novosibirsk, 1993, pp. 65–77.

5. *Vegetativnye rasstroistva: klinika, diagnostika, lechenie* [Autonomic nervous system disorders: clinical features, diagnosis, treatment]. Ed. A. M. Vein. Moscow, Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo, 2003, 752 p.

6. Gileva O. B. Ability to self-control in biofeedback games and success of pupils of 11–13 years. *Byulleten' sibirskoi meditsiny* [Bulletin of Siberian Medicine]. 2013, 12 (2), pp. 141–146. [in Russian]

7. Glazkova V. A., Sviderskaya N. E., Korol'kova T. A. Spatial organization of cortical electric activity in the voluntary regulation of heart rate. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 1996, 22 (5), pp. 104–108. [in Russian]

8. Gorev A. S., Panova E. N. Efficiency of biofeedback training of functional state regulation depending on individual psychophysiological characteristics. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 2009, 5, pp. 25–32. [in Russian]

9. Gurov Yu. V., Zaguskin S. L. Hierarchy of heart rhythms and new chronodiagnostic methods. *Vladikavkazskii mediko-biologicheskii vestnik* [Vladikavkaz Medical-biological Bulletin]. 2010, 10 (17), pp. 13–17. [in Russian]

10. Demin D. B., Poskotinova L. V., Krivonogova E. V. Thyroid effect on brain activity among adolescents during heart rhythm biofeedback session. *Rossiiskii fiziologicheskii jurnal imeni I. M. Sechenova / Rossiiskaia akademiia nauk* [Russian Journal of Physiology (formerly I. M. Sechenov Physiological Journal)]. 2011, 97 (11), pp. 1262–1269. [in Russian]

11. Demin D. B., Poskotinova L. V., Krivonogova E. V. Comparison of electroencephalogram changes at cardiovascular training in adolescents of Subpolar and Polar northern territories. *Rossiiskii fiziologicheskii jurnal imeni I. M. Sechenova / Rossiiskaia akademiia nauk* [Russian Journal of Physiology (formerly I. M. Sechenov Physiological Journal)]. 2014, 100 (1), pp. 128–138. [in Russian]

12. Doletskii A. N. Use of neurophysiologic criteria to predict success of managing tone of cerebral vessels through bio-feedback. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta* [Journal of VolgSMU]. 2005, 2, pp. 8–11. [in Russian]

13. Efilimova E. A. *Primenenie BOS-treninga v lechenii detei s sindromom vegetativnoi disfunktsii. Avtoref. kand. diss.* [Application of biofeedback training in the treatment of children with the syndrome of autonomic dysfunction. Author's Abstract of Cand. Diss.]. Pyatigorsk, 2007, 25 p.

14. Kamenchenko E. A., Poskotinova L. V. Dynamics of rheoencephalographic parameters during heart rate biofeedback in adolescents-inhabitants of Arctic area. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2013, 12, pp. 26–32. [in Russian]

15. Kaplan A. Ya. EEG kak upravlyayushchii signal: na puti k biotekhnicheskoi neurokommunikatsii [EEG as a controlling signal: towards biotechnical communication in neuron system]. In: *Bioupravlenie: teoriya i praktika* [Biofeedback: Theory and Practice]. Novosibirsk, 2010, pp. 7–18.

16. Krivonogova E. V., Poskotinova L. V., Demin D. B. Comparative analysis of the EEG components and heart rate variability during biofeedback training, depending on the serotonin serum level at girls 15–17 years. *Byulleten' sibirskoi meditsiny* [Bulletin of Siberian Medicine]. 2011, 10 (4), pp. 21–26. [in Russian]

17. Kropotov Yu. D. Perspektivy razvitiya bioobratnoi svyazi (BOS) pri korrektsii psikhicheskikh rasstroistv (na primere sindroma narusheniya vnimaniya s giperaktivnost'yu) [Development prospects biofeedback (BFB) for the correction of mental disorders (in the case of attention deficit disorder with hyperactivity)]. In: *Bioupravlenie: teoriya i praktika* [Biofeedback: Theory and Practice]. Novosibirsk, 2010, pp. 44–55.

18. Lavrikova V. I., Kozhevnikova M. I., Sinyakov V. S. EMG biologicheskaya obratnaya svyaz' pri lechenii skolioza u detei v rezhime staticheskogo napryazheniya [EMG biofeedback in the treatment of scoliosis among children in static tension]. In: *Bioupravlenie-4: teoriya i praktika* [Biofeedback-4: Theory and Practice]. Novosibirsk, 2002, pp. 178–185.

19. Polyakova A. G., Matveeva V. V. The use of hardware-based biocontrol in the complex medical rehabilitation of patients with psychovegetative disorders for prophylaxis of development of arterial hypertension. *Meditsinskii al'manakh* [Medical Almanac]. 2011, 3 (16), pp. 64–66. [in Russian]

20. Poskotinova L. V. *Vegetativnaya regulyatsiya ritma serdtsa i endokrinnyi status molodezhi v usloviyakh Evropeiskogo Severa Rossii* [Autonomic nervous regulation

of heart rhythm and endocrine status of young people in the European North of Russia]. Ekaterinburg, UB RAS Publ., 2010, 235 p.

21. Poskotinova L. V., Demin D. B., Krivonogova E. V., Dieva M. N., Khasanova N. M. The success of heart rate variability biofeedback parameters in persons with different levels of blood pressure. *Vestnik Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk* [Annals of the Russian Academy of Medical Sciences]. 2013, 7, pp. 20-23. [in Russian]

22. Red'ko N. G. Dependence of dynamic of psychoautonomic criterions and characteristics features in biofeedback training sessions with temperament of patient. *Byulleten' sibirskoi meditsiny* [Bulletin of Siberian Medicine]. 2010, 2, pp. 125-128. [in Russian]

23. Rudakova E. V., Griбанov A. V., Pankov M. N. Opportunities biofeedback training in correction hyperactivity syndrome. *Vestnik Pomorskogo universiteta* [Pomor University Bulletin]. 2007, 4, pp. 86-93. [in Russian]

24. Safonov V. A., Tarasova N. N. Nervous control of respiration. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 2006, 32 (4), pp. 64-76. [in Russian]

25. Sinyukhin B. D., Pirogov A. A., Erofeev A. I. Metodologicheskie aspekty ispol'zovaniya KGR v psikhofiziologicheskikh nablyudeniakh [Methodological aspects of GSR in psycho-physiological observations]. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki v sporte* [Research and development in sport]. Saint Petersburg, 1996, pp. 71-87.

26. Soroko S. I., Trubachev V. V. *Neirofiziologicheskie i psikhofiziologicheskie osnovy adaptivnogo bioupravleniya* [Neurophysiological and psychophysiological bases of adaptive biofeedback]. Saint Petersburg, IEFB RAN, 2010, 607 p.

27. *Sposob korrektsii vegetativnykh disbalansov s pomoshch'yu kompleksa dlya obrabotki kardio-intervalogramm i analiza variabel'nosti serdechnogo ritma «Varikard 2.51», rabotayushchego pod upravleniem komp'yuternoї programmy ISCIM 6.1 (BUILD 2.8), s ispol'zovaniem biologicheskoi obratnoi svyazi. Pat. 2317771 Ros. Federatsiya.* [Method for correcting vegetative misbalance states with Varicard complex for processing cardiointervalograms and analyzing cardiac rhythm variability, operating under computer software program with biofeedback. Patent RU 2317771]. L. V. Poskotinova, Yu. N. Semenov, Institut fiziologii prirodnykh adaptatsii UrO RAN. Byul. no. 6. Application: 2006110652/14, 03.04.2006. Date of publication 27.02.2008].

28. Stepochkina S. P., Cherapkina L. P., Tristan V. G. Brain bioelectricity activity of the sportsmen underwent the neurobiofeedback course. *Byulleten' sibirskoi meditsiny* [Bulletin of Siberian Medicine]. 2010, 2, pp. 83-87. [in Russian]

29. Suvorov N. B. Biofeedback of human heart rate: adaptive module. *Meditsinskaya tekhnika* [Biomedical Engineering]. 2005, 2, pp. 24-27. [in Russian]

30. Trubachev V. V. The low-frequency modulation of heart rate in the rabbit by biofeedback training. *Zhurnal Vyshei Neranoi Deyatelnosti im. I. P. Pavlova* [I. P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity]. 1982, 32 (1), pp. 170-172. [in Russian]

31. Tsirkin G. M., Nechaev E. V., Nechaeva E. N. The use of multiparameter biofeedback to a patient with consequences of craniocerebral injury. *Byulleten' sibirskoi meditsiny* [Bulletin of Siberian Medicine]. 2010, 2, pp. 155-156. [in Russian]

32. Shtark M. B., Skok A. B. Primenenie elektroentsefalograficheskogo bioupravleniya v klinicheskoi praktike [Application electroencephalographic biofeedback in clinical practice].

In: *Bioupravlenie-4: teoriya i praktika* [Biofeedback-4: Theory and Practice]. Novosibirsk, 2002, pp. 9-17.

33. Shubina O. S. Identity in heroin addiction and its modification in the course of alpha-stimulation biofeedback. *Byulleten' sibirskoi meditsiny* [Bulletin of Siberian Medicine]. 2010, 2, pp. 47-52. [in Russian]

34. Andrasic F. Biofeedback in headache: An overview of approaches and evidence. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*. 2010, 77, suppl. 3, pp. 72-76.

35. Bernardi L., Leuzzi S., Radaelli A. et al. Low frequency spontaneous fluctuations of R-R interval and blood pressure in conscious humans: A baroreceptor of central phenomenon? *Clinical Science*. 1994, 87, pp. 647-654.

36. Chapman S. L. A review and clinical perspective on the use of EMG and thermal biofeedback for chronic headaches. *Pain*. 1986, 27 (1), pp. 1-43.

37. Critchley H. D., Melmed R. N., Featherstone E. et al. Brain activity during biofeedback relaxation. *Brain*. 2001, 124 (5), pp. 1003-1012.

38. Demin D. B., Poskotinova L. V., Krivonogova E. V., Grjibovski A. M. Neurophysiological status of adolescents in different latitudes of the Russian North. *European Journal of Epidemiology*. 2013, 28, suppl. 1, S. 129.

39. Frysinger R., Zang J., Harper R. Cardiovascular and respiratory relationship with neuronal discharge in the central nucleus of amygdala during sleep - waking states. *Sleep*. 1988, 11 (4), pp. 317-332.

40. Gold M., Cohen D. The discharge characteristics of vagal cardiac neurons during classically conditioned heart rate change. *The Journal of Neurosciences*. 1984, 4 (12), pp. 2963-2971.

41. Hallman D. M., Olsson E. M., Von Scheele B. et al. Effects of heart rate variability biofeedback in subjects with stress - related chronic neck pain: a pilot study. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. 2011, 36 (2), pp. 71-80.

42. Henriques G., Keffer S., Abrahamson C., Horst S. Exploring the effectiveness of a computer - based heart rate variability biofeedback program in reducing anxiety in college students. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. 2011, 36 (2), pp. 101-112.

43. Kemp A. H., Quintana D. S., Gray M. A. et al. Impact of depression and antidepressant treatment on heart rate variability: a review and meta-analysis. *Biol. Psychiatry*. 2010, 67 (11), p. 1067.

44. Kotani K., Takamasu K., Tachibana M. Respiratory - phase domain analysis of heart rate variability can accurately estimate cardiac vagal activity during a mental arithmetic task. *Methods. Inf. Med.* 2007, 46 (3), pp. 376-385.

45. Lehrer P. M., Vaschillo E., Vaschillo B. et al. Heart Rate Variability Biofeedback Increases Baroreflex Gain and Peak Expiratory Flow. *Psychosomatic Medicine*. 2003, 65, pp. 796-805.

46. Lehrer P. M., Vaschillo E., Vaschillo B. et al. Biofeedback Treatment for Asthma. *Chest*. 2004, 126, pp. 352-361.

47. Nada P. J. Heart rate variability in the assessment and biofeedback training of common mental health problems in children. *Med. Arh.* 2009, 63 (5), pp. 244-248.

48. Powell D., Chachich M., Murphy V. Amigdala - prefrontal interactions and conditioned bradycardia in the rabbit. *Behav. Neurosci.* 1997, 111, pp. 1056-1074.

49. Prinsloo G. E., Laurie Rauch H. G., Lambert M. I. et al. The effect of short duration heart rate variability (HRV) biofeedback on cognitive performance during laboratory induced cognitive stress. *Applied Cognitive Psychology*. 2011, 25 (5), pp. 792-801.

50. Reynard A., Gevirtz R., Berlow R. et al. Heart rate variability as a marker of self-regulation. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. 2011, 36 (3), p. 209.

51. Rice K. M., Blanchard E. B., Purcell M. Biofeedback treatments of Generalized Anxiety Disorder: Preliminary results. *Biofeedback and Self-Regulation*. 1993, 18 (2), p. 93.

52. Siepmann M., Aykac V., Unterdorfer J. et al. A pilot study on the effects of heart rate variability biofeedback in patients with depression and in healthy subjects. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. 2008, 33 (4), pp. 195-201.

53. Sigafus P. Heart Rate Variability Biofeedback and Mindfulness: A Functional Neuroimaging Study. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*. 2011, 78, suppl. 1, p. 102.

54. Vaschillo E., Lehrer P., Rishé N., Konstantinov M. Heart Rate Variability Biofeedback as a Method for Assessing Baroreflex Function: A Preliminary Study of Resonance in the Cardiovascular System. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. 2002, 27 (1), pp. 1-27.

55. Wheat A. L., Larkin K. T. Biofeedback of heart rate variability and related physiology: a critical review. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. 2010, 35 (3), pp. 229-242.

56. Yu X., Zhang J., Xie D. et al. Relationship between scalp potential and autonomic nervous activity during a mental arithmetic task. *Auton. Neurosci.* 2009, 146 (1), p. 81.

57. Zucker T., Samuelson K., Muench F. et al. The effects of respiratory sinus arrhythmia biofeedback on heart rate variability and posttraumatic stress disorder symptoms: A pilot study. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. 2009, 34, pp. 135-143.

## PHYSIOLOGICAL BASIS OF THE FUNCTIONAL BIOFEEDBACK METHODS

<sup>1</sup>D. B. Demin, <sup>1,2</sup>L. V. Poskotinova

<sup>1</sup>*Institute of Environmental Physiology, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk,*

<sup>2</sup>*Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia*

The review contains a definition and the essence of biofeedback functional methods. The historical, scientific aspects and the main hypotheses are given here explaining the mechanisms of biofeedback. Different techniques and methods of biofeedback are discussed, as well as the scope of the rapidly developing technology of biofeedback. Emphasis is put on physiological mechanisms and prospects of heart rate variability biofeedback methods of development.

**Keywords:** biofeedback methods, mechanisms of biofeedback training, heart rate variability

### Контактная информация:

Дёмин Денис Борисович — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биоритмологии ФГБУН «Институт физиологии природных адаптаций Уральского отделения Российской академии наук»

Адрес: 163000, г. Архангельск, пр. Ломоносова, д. 249

Тел. (8182) 65-29-92

E-mail: denisdemin@mail.ru