

УДК 612.821

ИНФОРМАЦИОННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В БИОУПРАВЛЕНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ СОСТОЯНИЕМ ЧЕЛОВЕКА

Н. Б. Суворов,

д-р биол. наук, профессор

Санкт-Петербургский Государственный
электротехнический университет (ГЭТУ)

На начальном этапе развития биоуправления действие сигнала обратной связи в виде биологически значимого подкрепления носило преимущественно энергетический характер. Информационная составляющая имела значительно меньший вес — в аналитическом блоке биотехнической системы формировались команды на включение стимулов. В биотехнических системах последних поколений, реализующих принцип соответствия параметров сигнала обратной связи характеру физиологической функции (последовательность включений мышц, ритмическая структура сердечного ритма, артериального давления и т. д.), благодаря установке на успешный конечный результат информационно-мотивационная насыщенность сигнала обратной связи чрезвычайно велика.

Напряжение отдельных систем и организма в целом под влиянием факторов внешней и внутренней среды является источником нервных и нервно-висцеральных нарушений, способствует их хронизации и возникновению устойчивых патологических состояний. В настоящее время доказано, что наряду с экстремальными факторами среды значительное влияние на здоровье человека оказывают многочисленные слабые факторы различной природы, вызывающие зачастую парадоксальные и несоизмеримые с их дозой или мощностью биологические эффекты вследствие невключения адаптационных механизмов, кумуляции и постепенно нарастающего хронического стресса, приводящего в конечном итоге к росту общей заболеваемости. Они представляют высокую опасность из-за отсутствия негативных первичных реакций, развивающихся в основном по неспецифическому активационному типу. Известно, что ранние отклонения от нормы длительное время носят функциональный характер и проявляются в виде деструкции биоритмологических процессов. В случаях своевременного выявления коррекция этих нарушений если и проводится, то, как правило, фармакологическими методами. Развитие же лекарственной болезни вследствие длительной и зачастую избыточной фармакотерапии представляет существенную угрозу здоровью.

В связи с этим большое значение приобрели методы нефармакологического воздействия, к которым относятся психотерапия, аутогенная тренировка, биоуправление с обратной связью (БОС). Последнее хорошо зарекомендовало себя как совокупность методов, направленных на мобилизацию резервных возможностей организма за счет тренировки и повышения лабильности регулятор-

ных механизмов. Появились новые подходы в изучении механизмов адаптации и адаптивной саморегуляции функций, для исследования и коррекции которых использованы приемы биоуправления с обратной связью, — научные разработки этих идей начаты более четырех десятилетий назад. В нашей стране они связаны с именем чл.-корр. РАНН Н. Н. Василевского [1].

Биологическая система, находящаяся в естественных условиях в непрерывном взаимодействии с внешней средой, всегда стремится за счет внутреннего динамизма выбрать из множества возможных единственное состояние, обеспечивающее наиболее благоприятный приспособительный эффект. Она приобретает максимальную устойчивость к изменениям окружающей среды при широком диапазоне ее «поисковых» движений (колебаний физиологических функций). Сейчас признано, что уровень развития колебательных и циклических форм биологической активности является необходимой мерой адаптивности организма. Биологическим системам с многочисленными цепями внутренних связей присуща активная форма поиска наиболее биологически целесообразных состояний. Обратные связи служат целям информирования управляющих центров организма о качестве приспособления к условиям внутренней и внешней среды, а также получении энергии для его реализации.

Поддержание существенных переменных биосистем в физиологических пределах также тесно связано с колебательным характером нервных процессов. Живые системы осуществляют динамическое регулирование своих функций, поиск и воспроизведение оптимальных режимов деятельности посредством модуляции своих биоритмов. Прием и переработка информации о состоянии

биообъекта, «принятие решения», оценка его эффективности по конечному результату требуют определенного времени, из-за чего в сенсорных и регуляторных цепях неизбежно возникают временные задержки, которые также являются причинами эндогенных колебаний и циклических процессов в биосистемах. Таким образом, в динамике адаптивного регулирования органных и организменных функций выделение биоритмов представляется важным для понимания их роли в структурно-функциональной организации целостной деятельности. Биоритмы играют важную роль в регулировании на молекулярном и клеточном уровнях, в функционировании механизмов памяти, в сфере энергетических и информационных процессов.

Адаптивные свойства необходимо изучать в неразрывной связи с динамикой внешних воздействий, поэтому исследователи стали использовать статистические модели окружающей среды, с которой объект должен взаимодействовать по заранее заданному или формируемому в ходе взаимодействия адаптивному алгоритму. Эти условия наряду с непрерывным контролем физиологического состояния объекта в сочетании с взаимозависимостью интенсивности и качества биологически значимого раздражения от этого состояния были осуществлены в режиме «управляемого эксперимента».

Управляемый эксперимент — это метод системного исследования и системно-статистического анализа, при котором совокупность воздействий на исследуемый объект находится в функциональной причинно-следственной связи с состоянием его измеряемых и регулируемых параметров.

Исследуемая система должна быть формализована так, чтобы это не приводило (в рамках поставленной задачи) к существенной потере информации и чтобы в любой момент времени ее можно было описать конечным набором величин $x_1(t)$, $x_2(t)$, ..., $x_i(t)$, ..., $x_n(t)$. Эти переменные являются компонентами вектора состояния $X(t)$. Постоянное знание текущего состояния системы и оптимальное преобразование совокупности координат объекта используется для прогнозирования его дальнейшего поведения. Многошаговый процесс выбора целесообразного поведения состоит в том, что принимается лишь та последовательность действий, которая соответствует наилучшей траектории. Независимо от исходного состояния и первоначальных реакций все последующие действия должны неизбежно приводить систему к достижению конечного физиологического результата. Аналитический модуль биотехнической системы осуществляет преобразование совокупности текущих координат (переменных) объекта для характеристики его поведения во времени. При этом в каждый момент времени биологический объект может влиять на энерго-информационную структуру внешних воздействий путем динамической оценки вектора состояния, имеющего $(n + 1)$ координат

$$X(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \dots \\ x_i(t) \\ \dots \\ x_n(t) \\ q_i(t) \end{pmatrix},$$

где $q_i(t)$ — контролируемое внешнее воздействие ($i = 1, 2, \dots, m$). Тогда поведение системы описывается совокупностью векторов состояния $X(t_1)$, $X(t_2)$, ..., $X(t_m)$. В пространстве этих векторов выделяется область P , соответствующая требуемому состоянию биосистемы. Аналитический модуль в каждый момент времени фиксирует последовательно положение векторов и при выходе вектора состояния $X(t_i)$ из области P вырабатывает сигнал, управляющий внешними стимулами.

На начальном этапе развития биоуправления как научного направления в области экспериментального изучения физиологических механизмов саморегуляции, адаптации и поведения животных действие сигнала обратной связи в виде биологически значимого подкрепления носило преимущественно энергетический характер («управляемый эксперимент» конца 50-х — начала 70-х годов). Как правило, пересечение регулируемой функцией сверху/снизу некоторого заданного уровня (порога) приводило к включению электростимулятора, формирующего околопороговые электрокожные стимулы. Информационная составляющая имела значительно меньший вес — в аналитическом блоке биотехнической системы лишь формировались команды на включение стимулов.

Биологически значимая электростимуляция, синхронизированная с определенными фазами биоритма, способствовала устойчивой минимизации отрицательного энергетического воздействия, т. е. имела место реакция избегания тех форм биологической активности, которые вызывали электростимуляцию. При положительном (например, пищевом) подкреплении наблюдалась максимизация стимулируемых форм активности. Так вырабатывались новые двигательные стереотипы, мышечное чувство, снижалась или повышалась частота сердечных сокращений, были попытки воздействовать на артериальное давление. Терапевтическая эффективность таких процедур была невысокой.

В настоящее время под технологией управления с биологической обратной связью понимают комплекс исследовательских и лечебных процедур, в ходе которых пациенту посредством внешней цепи обратной связи, организованной преимущественно с помощью компьютерной или микропроцессорной техники (биотехнической системы), предъявляется информация о состоянии и изменении тех или иных регулируемых физиологических процессов. Процедура позволяет в течение 10–15 сеансов при активном участии испытуемого развить навыки саморегуляции и самоконтроля, производить коррекцию собственного состояния.

В биотехнических системах последних поколений, реализующих принцип соответствия параметров сигнала обратной связи характеру физиологической функции (последовательность включения мышц, колебательная структура сердечного ритма, артериального давления, нормализация собственной электроэнцефалограммы и т. д.) [2], благодаря установке на успешный конечный результат информационно-мотивационная насыщенность сигнала обратной связи чрезвычайно велика. В качестве подкрепляющего фактора используются специально подобранные видеоклипы, видеofilмы, музыка, в том числе «музыка мозга». Активно развиваются мультимедийные и соревновательные сюжеты. Необходимо подчеркнуть, что достигнутый в

результате тренинга и осознанный пациентом положительный результат является дополнительным «допингом» — информационной обратной связью подкрепляющего (положительного) характера. При этом в управление включаются как произвольно, так и непроизвольно регулируемые механизмы. Положительный клинический результат устойчив в течение длительного времени.

Таким образом, организм рассматривается как целостная динамическая система, все элементы которой самоуправляются и саморегулируются по принципу внешних и внутренних обратных связей. Последние обеспечивают непрерывную афферентную информацию о состоянии основных констант организма. Регулирование касается всей системы в целом и разных ее уровней, которые обладают относительной автономией, и, будучи связаны между собой, образуют многоуровневую систему, высшие центры которой контролируют нижележащие.

Не претендуя на исчерпывающий анализ проблемы биологических обратных связей, мы обращаем внимание преимущественно на ее методологическую и практическую стороны и актуальные вопросы информатизации исследований. Стало очевидным, что генеральная линия развития определяется внедрением компьютерных (микропроцессорных) методик, обеспечивающих реализацию принципа системной регуляции «непроизвольных функций», направленной на нормализацию их биоритмологической структуры.

Как известно, регулирование непроизвольной функции осуществляется при помощи внешней искусственной обратной связи, включенной в сферу произвольного контроля, т. е. ассоциативным путем. На основе этого у человека вырабатывается своеобразный условный рефлекс, и он обучается хорошо владеть той функцией, которая прежде вообще или почти не поддавалась произвольному управлению.

На протяжении почти полувековой истории биоуправления с обратной связью (biofeedback) в медицине не утихает дискуссия об эффективности этого метода произвольной (принудительной) регуляции, о его возможностях в анализе фундаментальных закономерностей интегративной работы мозга и о перспективах его практического применения в клинике, прикладной психологии и физиологии. Эффективность — свойство системы, которое раскрывается через реализацию определенной целевой функции и объективно выражается степенью ее достижения с учетом затрат ресурсов и времени [3]. Эффективность биоуправления с обратной связью приравнивается либо к принципиальной возможности управления заданной функцией, либо к оценке величины выработанных сдвигов, либо к их устойчивости и воспроизводимости во время и после исследования, либо к возможности произвольного их воспроизведения без сигналов обратной связи, либо к клиническим результатам. Очевидно, понятие эффективности БОС в таком широком смысле не имеет однозначного толкования. Многочисленными исследованиями установлено, что цель произвольного биоуправления может быть достигнута в отношении практически любой произвольной и непроизвольной нервной, вегетативной и соматической функции. Однако величины и устойчивость выработанных сдвигов чрезвычайно разнообразны. В пер-

вую очередь это связано с физиологическими особенностями тренируемой функции, например, с пластичностью, с ее максимальной близостью к произвольно управляемому процессам [2, 4, 5].

В настоящее время теоретический раздел биоуправления с обратной связью достаточно проработан для того, чтобы сводить анализ эффективности (при адекватном выборе аппаратных средств и рациональном способе их использования на каждом шаге управления) в первую очередь к оценке терапевтического результата. Однако, комплексные критерии клинической эффективности, несмотря на важное прикладное значение методологии биологических обратных связей, остаются недостаточно разработанными. Дело в том, что в большинстве случаев БОС не может рассматриваться в качестве основного патогенетического приема лечения. Оно пока остается вспомогательным методом, особого рода психофизиологической поддержкой, устраняющей дизрегуляторные симптомы при патологии, поэтому результаты тренинга необходимо оценивать только комплексно по выраженности отдельных параметров, симптомов и синдромов.

Наибольшая эффективность установлена для биоуправления скелетной мускулатурой в терапевтических и спортивно-тренировочных целях посредством слуховых, зрительных, электромиографических обратных связей в сочетании с релаксацией и психофизиологической поддержкой. Есть данные об эффективности дыхательной тренировки при терапии некоторых заболеваний на стадии реабилитации. Точность собственной оценки временных интервалов также поддается коррекции за счет обратных связей. Что касается регуляции непроизвольных функций (нервных и вегетативных) в терапевтических целях, то по существу исследования продолжают находиться на стадии поисков и клинических испытаний.

Относительно несложной представляется задача произвольного управления температурой различных участков тела, избавления от головной боли. Большая методическая изолированность требуется для инструментального управления артериальным давлением (АД). Нормализация АД в некоторых случаях оказывается неспецифическим сопутствующим эффектом.

Первостепенную роль в проблеме эффективности играет безопасность процедуры с точки зрения состояния испытуемого (пациента). Снизить вероятность нежелательных эффектов от действий лица, проводящего сеанс биоуправления, позволяет введение в интеллектуальную часть биотехнической системы программного адаптивного модуля, который, непрерывно анализируя текущее состояние, не позволяет формировать внешнюю среду, провоцирующую выход физиологических параметров конкретного испытуемого за пределы его индивидуальной физиологической нормы. Необходимой составной частью такого модуля является как база знаний, так и экспертная система. Организованное таким образом адаптивное биоуправление повышает качество процедуры с точки зрения получения устойчивого полезного приспособительного эффекта. Клиническая эффективность БОС повышается при непосредственной и непрерывной оценке результатов.

Экспериментальные исследования и клинические испытания многочисленных приемов БОС про-

водятся в течение многих лет. Полученные результаты заложили основу нового направления в компьютерных БОС-технологиях — колебательное или знакопеременное биоуправление [4, 6], эффективность которого подтверждена многочисленными клиническими испытаниями на различных группах больных. Подобная технология в силу физиологической адекватности и близости к биоритмологическим процессам в регуляторных механизмах позволяет выявлять и восстанавливать естественные (собственные) биологические ритмы организма. Пациент не ставится в рамки «жесткой» инструкции, ему предлагается лишь следовать за текущей динамикой регулируемого процесса, биоритм которого нуждается в коррекции (с предъявлением «целевой» функции или без нее).

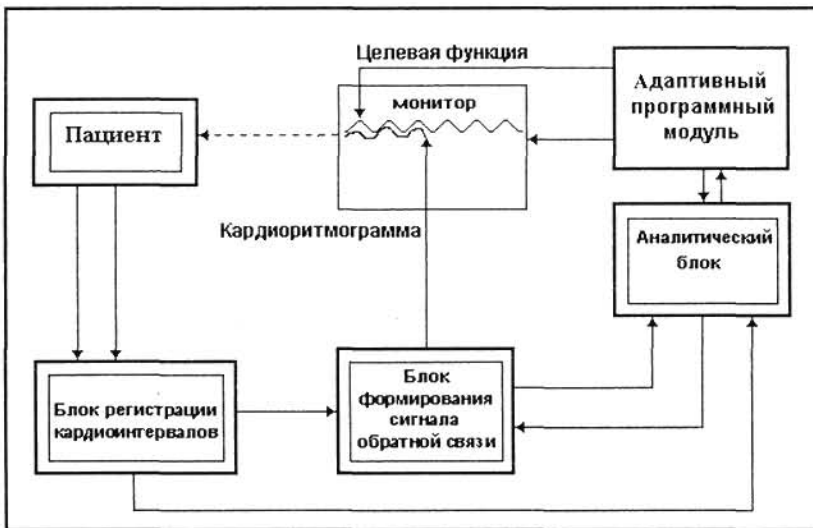
Подавляющее большинство физиологических функций имеет колебательный характер. Особо был выделен диапазон 8–30 с — адаптогенные биоритмы. С биоритмологической динамикой внутри этого диапазона исследователи связывают развитие адаптационных и гомеостатических процессов в организме. Периодические составляющие адаптогенного диапазона были приняты в качестве основных временных констант знакопеременной обратной связи. Изуче-

ние механизмов знакопеременного управления кардиоритмом как информативного способа контроля состояния сердечно-сосудистой системы открыло пути к его коррекции через механизмы саморегуляции организма.

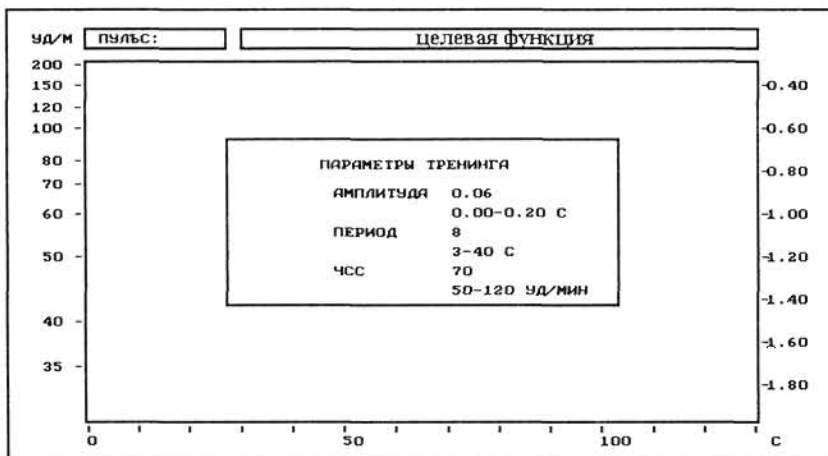
Суть знакопеременного кардиотренинга состоит в одновременном предъявлении на экране перед испытуемым двух функций — собственной кардиоритмограммы (КРГ) и целевой синусоиды, периоду и амплитуде которой необходимо следовать во время тренинга. Таким образом, задача периодического повышения/понижения (перемена знака колебаний сердечного ритма) частоты сердечных сокращений (ЧСС), направленная на нормализацию биоритмологической структуры, становится реальной. Технология знакопеременной БОС предназначена для оценки адаптационных возможностей сердечно-сосудистой системы; тренировки сердечного ритма в адаптивной системе биоуправления; выработки навыков саморегуляции и расслабления; повышения уровня адаптационных возможностей и работоспособности; применения в качестве дополнительного средства предварительной диагностики. Комплекс применяется также для систематического обследования лиц, находящихся в состоянии профессионального, экологического, психологического или социального напряжения (стресса); спортсменов до и после тренировок; для аутотренинга при нервных и физических нагрузках.

На рис. 1 представлена схема биотехнической системы с обратной связью (БТСОС). После обработки в блоке регистрации и формирования сигнала обратной связи на экран компьютера в реальном времени предъявляется КРГ пациента. Аналитический блок в автоматическом режиме производит анализ данных, полученных при математической обработке КРГ и введенных дополнительных параметров. Результатами автоматической обработки кардиоритмограмм являются: гистограммы распределения кардиоинтервалов, частотные спектры КРГ, интенсивности волн спектра КРГ, скаттерграммы кардиоинтервалов. Ряд вторичных показателей определяется по стандартным формулам.

После формирования и обработки на монитор компьютера в реальном времени предъявля-



■ Рис. 1. Блок-схема биотехнической системы

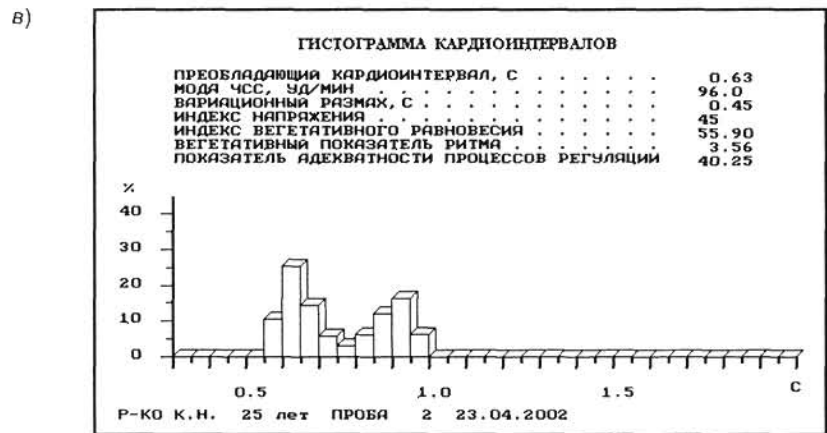
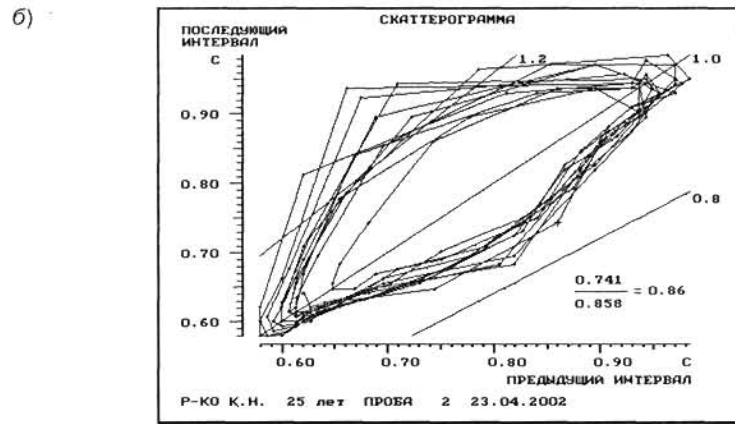
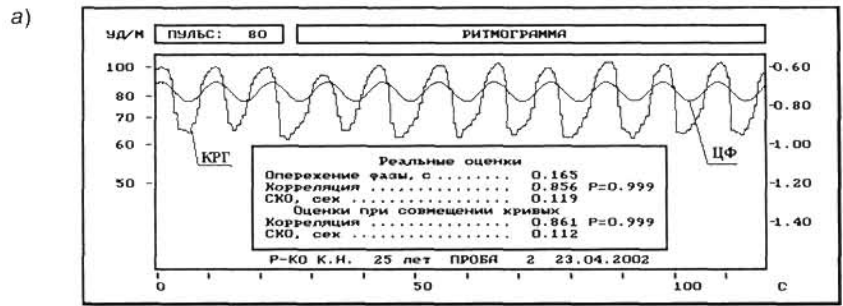


■ Рис. 2. Параметры целевой функции на пробу: амплитуда — 0,06 с размах — 0,12 с; период — 8 с; постоянная составляющая — 70 уд/мин; параметры определены на основании анализа предыдущей пробы

ется сигнал обратной связи в виде огибающей кардиоритмограммы пациента, характеризующей поударную ЧСС. Одновременно на экран выводится синусоидальная кривая — целевая функция (ЦФ), с амплитудой и периодом которой пациент должен стараться совмещать собственную КРГ во время тренинга (рис. 2). «Отслеживание» ЦФ удается за счет ритмичного дыхания, определенного ее периодом (при вдохе ЧСС растет, при выдохе — падает). Наличие в КРГ дыхательных колебаний является благоприятным диагностическим признаком. Пример эффективного отслеживания ЦФ при непрерывном зрительном контроле приведен на рис. 3, а. Качество отслеживания ЦФ определялось по коэффициентам кросс-корреляции с учетом фазового сдвига и среднеквадратическому отклонению. Результаты тренинга признавались удовлетворительными при достоверно высоком коэффициенте кросс-корреляции.

Процедура кардиотренинга состоит в следующем. Двухминутная регистрация КРГ (как фоновая, проводимая в состоянии расслабленного бодрствования с закрытыми глазами, так и активная) названа «пробой», «сеанс» — последовательность из нескольких проб длительностью 30–40 мин. Серия из 10–15 и более сеансов, проводимых через день или ежедневно, образует «цикл».

ЦФ на каждую двухминутную пробу тренинга формировалась впервые использованным в практике биоуправления адаптивным программным модулем, функции которого достаточно разнообразны. В описываемой БТСОС он служит для создания гибкого режима предъявления целевых синусоид, способствующего расширению адаптивных свойств системы регуляции кардиоритма. Параметры ЦФ для каждой пробы биоуправления формировались автоматически по результатам спектрального анализа путем быстрого преобразования Фурье предыдущей кардиоинтервалограммы. В адаптивном модуле также анализировались средняя ЧСС, период и амплитуда дыхательных волн после каждой пробы биоуправления. При успешном выполнении пробы задание на каждую последующую пробу усложнялось, в противном случае происходило упрощение задачи отслеживания. Чрезвычайно важно, чтобы повышение/сни-



■ Рис. 3. а — активная проба — отслеживание целевой функции — синусоиды, элемент тренинга для усиления дыхательного компонента в сердечном ритме. Период целевой функции (ЦФ) — 10,71 с, амплитуда — 0,05 с, период основной (собственной) гармоника кардиоритмограммы (КРГ) — 10,71 с, ее амплитуда — 0,171 с. По горизонтали — текущее время (с), по вертикали слева — мгновенная частота сердечных сокращений (уд/мин), справа — длительность RR-интервала (с). В рамке слева вверху — средняя частота сердечных сокращений за эпоху 120 с. В рамке в центре — фазовый сдвиг между КРГ и ЦФ, коэффициент кросс-корреляции и среднеквадратическое отклонение (СКО) между ними для реального процесса и при совмещении кривых (фазовый сдвиг равен 0 с); б — скаттерограмма или зависимость последующего RR-интервала от предыдущего для КРГ (см. рис. 3, а). Отношение (дробь) внизу справа — в числителе величина $RR(i+1)$, в знаменателе — величина RRi в координате, обозначенной знаком +, $F = 4.326$; в — гистограмма распределения RR-интервалов КРГ и некоторые параметры сердечного ритма

■ **Таблица.** Значения коэффициентов *K* при различных значениях средней частоты сердечных сокращений (уд/мин)

ЧСС	< 40	40-44	45-54	55-59	60-65	66-70	71-80	81-90	91-100	> 100
<i>K</i>	9,0	6,0	3,0	1,5	1,0	1,5	2,5	5,0	8,0	10,0

жение сложности задания являлось незаметным для пациентов. Параметры ЦФ при необходимости могли изменяться с клавиатуры. Следовало также ограничить влияние положительной эмоциональной обратной связи (при успешном выполнении задания) во избежание выхода некоторых показателей за пределы физиологической нормы. Поэтому в состав адаптивного программного модуля входит специально разработанная экспертная система, которая контролирует параметры ЦФ.

В процессе подобных тренировок в спектре КРГ появлялись исходно отсутствующие высокоамплитудные гармоники — биоуправление способствовало усилению дыхательно-сердечных взаимодействий и формированию собственных частот кардиоритма в области быстрых или медленных волн.

Колебательный режим, направленный на попеременное торможение и активацию ритмической активности синусового узла, является адекватным приемом для изучения особенностей произвольной дыхательной модуляции кардиоритма. Эти свойства лежат в основе профилактического, терапевтического, реабилитационного и мобилизационного действия комплекса.

Как уже указывалось, программное обеспечение БТСОС позволяет в автоматическом режиме производить анализ данных, полученных при математической обработке КРГ и дополнительных показателей (после каждой пробы в базу данных заносилось АД, рассчитывались пульсовое давление, среднее динамическое давление, ударный объем кровообращения, минутный объем кровообращения, периферическое сопротивление и др.).

Скаттерограмма, соответствующая КРГ на рис. 3, а, отображена в виде точек на плоскости, последовательно во времени соединенных между собой (рис. 3, б). В диагностике нарушений сердечного ритма большое значение придается форме скаттерограммы, для чего применяют разнообразные приемы [7, 8]. Форму скаттерограммы можно также оценить следующим образом

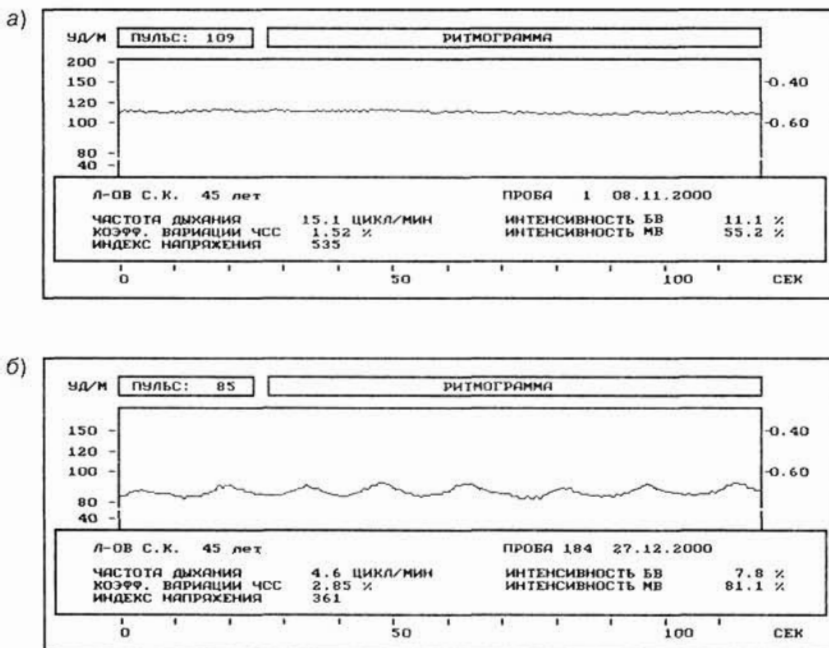
$$F = K \times L / 2\sqrt{\pi \times S},$$

где *L* — период внешнего контура скаттерограммы; *S* — ее площадь.

Очевидно, что скаттерограммы могут иметь близкие формы при разных средних частотах пульса и при этом их коэффициенты формы (фрактальные коэффициенты) также будут мало различаться между собой. На основании многочисленных исследований, подкрепленных литературными данными, были определены значения *K* для различных средних частот сердечного ритма (см. таблицу). При такой оценке диагностически благоприятными с точки зрения биоритмологической структуры сердечного ритма будут низкие значения *F*.

Гистограмма распределения кардиоинтервалов КРГ (рис. 3, а), представлена на рис. 3, в. Для количественной оценки процессов регуляции сердечного ритма использованы общепринятые параметры: индекс напряжения регуляторных систем $ИН = AMo/2 \times Mo \times dRR$ — отражает степень централизации управления сердечным ритмом (*AMo* — амплитуда моды в процентах, *Mo* — мода в секундах, $dRR = RR_{\max} - RR_{\min}$ — вариационный размах в секундах, индекс вегетативного равновесия $ИВР = AMo/dRR$, вегетативный показатель ритма $ВПР = 1/Mo \times dRR$ (*ИВР* и *ВПР* характеризуют отношения в симпатической и парасимпатической регуляции работы сердца), показатель адекватности процессов регуляции $ПАПР = AMo/Mo$ (для выявления соответствия между уровнем функционирования синусового узла и симпатической активностью).

Основным критерием кардиотренинга была признана его клиническая эффективность, которая складывалась из объективных данных (АД, средняя частота пульса и дыхания, дыхательно-сердечная синхронизация, результаты электроэнцефалографического обследования и психологического тес-



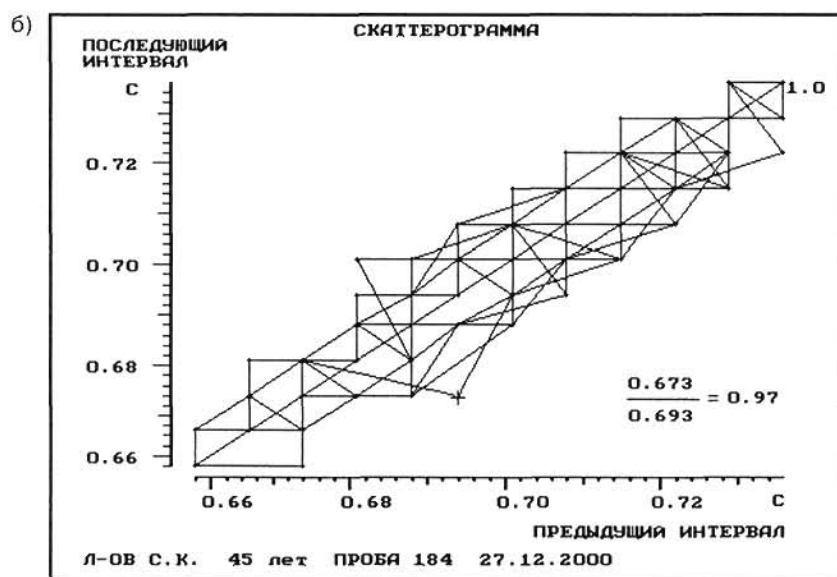
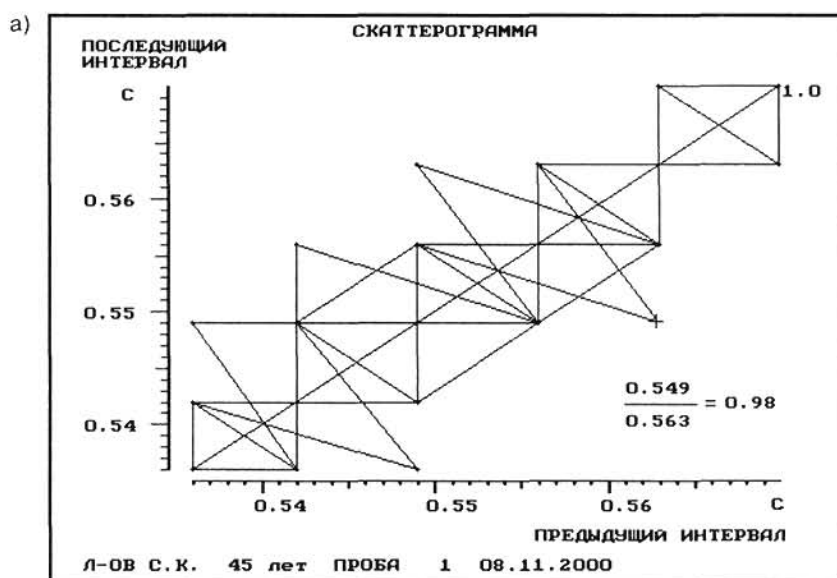
■ **Рис. 4.** а — исходная КРГ пациента в состоянии расслабленного бодрствования с закрытыми глазами — ригидный ритм. БВ — диапазон быстрых волн КРГ, МВ — медленные волны. Остальные обозначения те же, что и на рис. 3, а; б — заключительная КРГ пациента в состоянии расслабленного бодрствования с закрытыми глазами — дыхательно-сердечная синхронизация в диапазоне медленных волн. Обозначения те же, что и на рис. 3, а и 4, а

тирования реактивной и личностной тревоги, которые проводились в начале и конце каждого сеанса кардиотренинга) и субъективных жалоб больных. Положительные результаты полного цикла тренинга представлены на рис. 4 и 5.

Пациент Л-ов, страдающий гипертонической болезнью с 1984 г., максимальное АД — 200/140 мм рт. ст. В анамнезе: острый инфаркт миокарда. Объективно: АД — 180/120 мм рт. ст., ригидный ритм, ЧСС 109 уд/мин. Рекомендовано проведение цикла БОС — пациенту предстояло уловить слабые колебания КРГ на фоне ригидного ритма. Для формирования синусового ритма он располагался в удобном положении и, следуя инструкции, дышал спокойно, растягивая фазы вдоха и выдоха. Через четыре сеанса амплитуда КРГ несколько увеличилась, что дало возможность пациенту синхронизировать вдох с фазой подъема, а выдох — с фазой снижения КРГ. После восьми сеансов КРГ приобрела колебательный характер, что позволило восстановить дыхательно-сердечную синхронизацию и снизить ЧСС. Для закрепления навыка потребовалось 184 пробы в 23 сеансах. На фоне дыхательно-сердечной синхронизации в диапазоне медленных волн произошел рост вариационного размаха КРГ с 0,05 с до 0,15 с. Пациент отмечал значительное улучшение общего состояния. Объективно: снижение АД до 145/105 мм рт. ст., уменьшение ЧСС с 109 до 85 уд/мин, КРГ см. рис. 4, скаттерграммы — рис. 5.

Адаптивный характер управления сеансом и автоматическое предъявление задания позволяет после соответствующей консультации с врачом проводить тренинг самостоятельно (дома или на рабочем месте) без непосредственного медицинского контроля. Для восстановления дыхательного ритмического компонента КРГ, нормализации ЧСС и АД при функциональной дисрегуляции кардиоваскулярной системы или других нарушениях рекомендуется полный тренировочный цикл.

Для контролируемого восстановления (реабилитации) после тренировок, соревнований, тяжелых физических нагрузок, вахт, стрессовых ситуаций может быть достаточно одного—пяти тренировочных сеансов, проведенных на основе тех же принципов с учетом специфики нагрузки и индивидуальных особенностей испытуемого.



■ Рис. 5. а — скаттерграмма, соответствующая КРГ на рис. 4, а. Обозначения те же, что и на рис. 3, б. $F = 39.478$; б — скаттерграмма, соответствующая КРГ на рис. 4, б. Обозначения те же, что и на рис. 3, б. $F = 16.864$

Биоуправление может выступать в качестве диагностического теста, позволяющего выявлять скрытые при обычных регистрациях КРГ особенности организации и регуляции кардиоритма.

Биоуправление имеет большое значение для «мобилизационной» предстартовой психофизиологической подготовки человека-оператора сложных систем управления — снимается избыточное напряжение, нормализуется вегетативный баланс, формируются или активизируются навыки самоконтроля.

Непрерывное наблюдение за периодическими колебаниями длительностей кардиоинтервалов, соответствующими по периоду и амплитуде эталонной синусоиде, убеждало испытуемых в возможности направленного управления процессом и служило положительным информационным стимулом для дальнейших активных тре-

нировок. Именно знакопеременная обратная связь информационно и биоритмологически совместима с жизненно важными функциями организма и позволяет тренировать регуляторные процессы в их естественном временном диапазоне путем усиления или торможения существующих, воссоздания утраченных или функционально «заторможенных» энергоинформационных связей между отдельными подсистемами организма. Эта методика не предполагает искусственного изменения уровня функции и не затрагивает гомеостатические механизмы, которые противодействовали бы тренингу.

Работа с пациентами показала, что знакопеременная обратная связь полезна при артериальной гипо- и гипертензии, вегето-сосудистой дистонии, тахикардии, ригидности сердечного ритма, бронхиальной астме, головных болях и др.

Включение в сферу произвольной регуляции ЧСС таких факторов индивидуальности, как сознательный контроль поведения, эмоциональная устойчивость в сочетании с азартом, подкрепляемым наглядным положительным результатом тренинга, обуславливают снижение реактивной тревоги и улучшение самочувствия и настроения.

Приведенные результаты подтверждают целесообразность использования интеллектуальных компьютерных комплексов с информационно-управляющей обратной связью для экспресс-оценки, прогноза и коррекции функционального состояния человека в кабинетах диагностики и реабилитации в медсанчастях, поликлиниках и стационарах, в санаториях и профилакториях, в медпунктах в автономных и вахтовых условиях деятельности, в спортивных диспансерах и физкультурно-оздоровительных комплексах, дома или на рабочем месте. Индивидуализированные ЭВМ-методики открывают неограниченные возможности для варьирования условий проведения сеансов — вводить ложную информационную обратную связь, менять частоту смены активационных и тормозных сигналов, тестировать устойчивость биоэффектов на непосредственно тренируемой функции и на совокупности других, сопряженных с нею процессов. Разработка миниатюрных микропроцессорных БТСОС индивидуального пользования в режиме телемедицины значительно расширит возможности профилактического применения знакопеременной

обратной связи как экологически чистой медицинской технологии.

Знакопеременный ЧСС-тренинг с адаптивной информационно-мотивационной обратной связью, отличающийся периодической сменой активации и торможения управляемой функции в пределах индивидуальной физиологической нормы, осуществляет безопасную тренировку симпатических и парасимпатических механизмов кардиоваскулярной системы, расширяет динамический диапазон регуляторных процессов в других системах организма. Эффект знакопеременного тренинга может длительно сохраняться — у 90 % испытуемых положительные результаты сохранялись более года.

Литература

1. **Василевский Н. Н., Суворов Н. Б., Трубачев В. В.** Устойчивые изменения частоты и синхронности разрядов нейронных популяций в экспериментах с обратной связью // Доклады АН СССР. — 1972. — Т. 206. — № 2. — С. 510–512
2. **Биоуправление** — 3. Теория и практика / Под ред. М. Б. Штарк, Р. Калл. — Новосибирск. — 1998. — 300 с.
3. **Надежность и эффективность в технике.** Т. 3. Эффективность технических систем / Под ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. — М.: Машиностроение, 1988. — 328 с.
4. **Суворов Н. Б.** Адаптивные системы знакопеременного биоуправления // В кн.: Телемедицина. Новые информационные технологии на пороге XXI века / Под ред. Р. М. Юсупова и Р. И. Полонникова. — СПб.: СПИИ РАН, 1998. — С. 253–272
5. **Суворов Н. Б.** Биологическая обратная связь и эффективность управления состоянием организма человека // В кн. Биотехнические системы в медицине и биологии. — СПб.: Политехника, 2002. — С. 13–20
6. **Василевский Н. Н., Сидоров Ю. А., Суворов Н. Б.** О роли биоритмологических процессов в механизмах адаптации и коррекции регуляторных дисфункций // Физиология человека. — 1993. — Т. 19. — № 1. — С. 91–98
7. **Дембо А. Г., Земцовский Э. В.** Спортивная кардиология. — Л.: Медицина, 1989. — 464 с.
8. **Машин В. А., Машина М. Н.** Анализ variability сердечного ритма с помощью метода графа при различных функциональных состояниях // Вопросы психологии. — 2002. — № 2. — С. 99–111.