

## **ТЕХНОЛОГИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО БИОУПРАВЛЕНИЯ С ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В ПРОФИЛАКТИКЕ И РЕАБИЛИТАЦИИ ЗДОРОВЬЯ**

СУВОРОВ Н. Б., СЕРГЕЕВ Т. В., ЧАН ЧОНГ ХЫУ

Напряжение отдельных систем и организма в целом 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 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. На факторы малой интенсивности при их длительном действии формируется хроническая форма неспецифической адаптационной реакции. Если при этом снижаются функциональные возможности и резервы организма, то внешние влияния рассматриваются как факторы риска, приводящие к дизадаптации, доклиническим состояниям, патологии, имеющим стохастическую проявляемость, зависящую от индивидуально-типологических свойств личности и наличия или отсутствия скрытых биологических дефектов. Известно, что ранние отклонения от нормы длительное время носят функциональный характер и проявляются в виде деструкции биоритмологических процессов в циклически функционирующих регуляторных системах. В случаях своевременного выявления коррекция этих нарушений если и проводится, то, как правило, фармакологическими методами. Распространение же лекарственной болезни вследствие избыточной и длительной фармакотерапии представляет существенную угрозу здоровью.

Проблемы диагностики, профилактики и нефармакологической коррекции дисфункций центральной и автономной нервной систем, а также постстрессовых состояний актуальны во всём мире. Предметом серьезного изучения они являются по причине обострения экологических проблем, не всегда соответствующих адаптационным возможностям человека. Среди нетрадиционных методов саморегуляции, профилактики, оздоровления, реабилитации, мобилизации резервов организма особое место занимает появившаяся около 50 лет назад технология, называемая сейчас функциональным биоуправлением с обратной связью (ФБУОС) или biofeedback. К настоящему времени накоплен большой и очень ценный опыт применения компьютерных, микропроцессорных, автономных комплексов, использующих фактор непрерывного контроля колебаний функций организма со стороны самого пациента. Наибольшее распространение имеют комплексы для коррекции функций сердечно-сосудистой системы, как одной из важнейших в обеспечении жизнедеятельности.

***Какими факторами поддерживается энергетический обмен в организме?***

Хорошо известно, что энергетику организма обеспечивают пища, вода, кислород, электромагнитная радиация (солнечный свет и тепло) и другие факторы. Без пищи человек живет до двух месяцев, без воды - менее недели, без кислорода (дыхания) - несколько минут. Таким образом, роль дыхания в жизнедеятельности организма очень велика. Многие специалисты считают, что дыхание в значительной степени определяет уровень здоровья и продолжительность жизни человека. Более того, утерянный в результате различных больших и малых стрессов, экологических нагрузок естественный стереотип дыхания является одной из важнейших причин болезней, преждевременной старости и смерти. При неправильном дыхании "качество жизни" падает, даже если человек имеет комфортные условия труда и быта. Неправильное дыхание приводит к нарушению вегетативного баланса, что естественно не способствует сохранению здоровья. Чаще всего неправильное дыхание - это учащённое поверхностное дыхание, следствием чего является "вымывание" из крови углекислого газа. Его недостаток (гипокапния), в частности, может приводить к разнообразным спазматическим явлениям. В крови должен поддерживаться определённый баланс между кислородом и углекислым газом.

***Что является причиной формирования патологического стереотипа дыхания?***

Перенесённые заболевания, последствия избыточной фармакотерапии ("лекарственная болезнь") и хирургических вмешательств; психофизиологические, физические (механические, электромагнитные колебания в широком диапазоне частот - от постоянного тока до ионизирующей радиации), химические, климатогеографические, боевые стрессы, стрессы социальной изоляции (работа вахтовыми методами, космос, полярные станции, подводные лодки, гарнизоны и т.д.); физические нагрузки и перегрузки, не скомпенсированные адекватными методами; напряжённая операторская деятельность; физиотерапевтические процедуры; загрязнения окружающей среды (воздух, вода, пища); скрытые биологические дефекты (генетические особенности организма); неумение или неспособность расслабляться и многие другие факторы.

Известно, что у здоровых людей молодого возраста в состоянии расслабленного бодрствования с закрытыми глазами имеет место респираторная синусовая аритмия или дыхательно-сердечная (кардиореспираторная) синхронизация - при вдохе частота пульса растёт, при выдохе - снижается [1, 2]. Наблюдения врачей показывают, что с возрастом (к 30-40 годам) эта согласованность между ритмами дыхания и сердца необратимо утрачивается, косвенно свидетельствуя о нарушениях вегетативного баланса. Длительная практика работы с системами биологической обратной связи убеждает в том, что этот важный утраченный механизм может быть устойчиво восстановлен, если путём кардиореспираторного тренинга будет нормализована функция дыхания.

***Полезна ли процедура биоуправления при применении в течение одного сеанса?***

Даже тренировка в течение 30 - 40 минут ускоряет восстановление ритмов сердца и дыхания непосредственно после физических упражнений, физиотерапевтических, в том числе грязевых, процедур, спортивных тренировок и соревнований, напряжённых вахт, совещаний, переговоров, - когда требуется быстро снять психологическое напряжение. Вышеупомянутые отрицательные факторы отражаются также в биоэлектрической активности головного мозга, неадекватно повышая функциональную активность коры мозга. Восстановление дыхательно-сердечного взаимодействия нормализует структуру биоэлектрической активности и снимает избыточное возбуждение (напряжение) в коре головного мозга, что подтверждается специальными психологическими тестами. Если перечисленные факторы, как и сеансы биоуправления, имеют систематический характер, то кардиореспираторный тренинг у здоровых людей приобретает профилактический смысл, то есть все нарушения, накапливающиеся в заинтересованных системах организма, своевременно компенсируются (инвестиции в профилактику - наилучший способ вложения капиталов).

***Полезен ли кардиореспираторный тренинг при подготовке к ответственной деятельности или после её завершения?***

Безусловно! Нет гарантий, что функциональное состояние оператора атомной электростанции или диспетчера управления воздушным движением оптимально или адекватно предстоящей деятельности - диагностика таких состояний достаточно известна и широко используется. В определённых случаях один сеанс адаптивного биоуправления может мобилизовать оператора или снять рабочее напряжение, - естественно, что после этого адекватность функционального состояния должна быть диагностирована повторно. В менее напряжённых видах деятельности “мобилизационное” или релаксационное биоуправление еще более эффективно [3, 5].

***К каким результатам приводит длительное использование ФБУОС-технологии?***

Полный цикл адаптивного биоуправления состоит из 10 - 15 сеансов, состоящих из 6 активных и 2 фоновых (в начале и в конце сеанса) двухминутных проб с небольшими перерывами между ними. Таким образом, общая длительность сеанса не превышает 40 минут. Анализ результатов тренинга (диагностика) производится после каждой пробы. Интеллектуальная компьютерная система с биологической обратной связью по сердечному ритму “КАРДИОТРЕНИНГ” даёт уникальную возможность за 10 - 15 тренировочных сеансов восстановить феномен исходной (свойственной молодому возрасту) дыхательно-сердечной синхронизации [4, 6]. Устойчивые положительные результаты (включая отдалённые) длительного применения БОС получены у больных нейроциркуляторной дистонией гипертензивного, гипотензивного и нормотензивного типов с кардиальным, астено-невротическим, вазомоторным

(церебральным) синдромом и синдромом респираторных расстройств (возраст от 16 до 62 лет и есть все основания полагать, что адаптивное биоуправление с обратной связью может применяться и в более раннем возрасте), а также при реабилитации после острого инфаркта миокарда [4]. При функциональных нарушениях кардиореспираторный тренинг может использоваться изолированно, при патологии он рассматривается как средство психофизиологической поддержки традиционной (классической) терапии.

### Суть адаптивного биоуправления с обратной связью колебательного характера и его результаты

Для этого на экране монитора персонального компьютера испытуемому предъявляется целевая функция-синусоида (ЦФ) с периодом, лежащим в диапазоне дыхательных волн, и его собственная кардиоритмограмма КРГ (кривая, пропорциональная мгновенной частоте пульса). Цель - пользуясь непрерывным зрительным контролем, совместить две кривые, делая вдох на восходящей фазе синусоиды, а выдох - на нисходящей фазе ЦФ (рис.1). Исследователь обращает особое внимание пациента на связь флуктуаций КРГ с периодичностью и амплитудой дыхания.

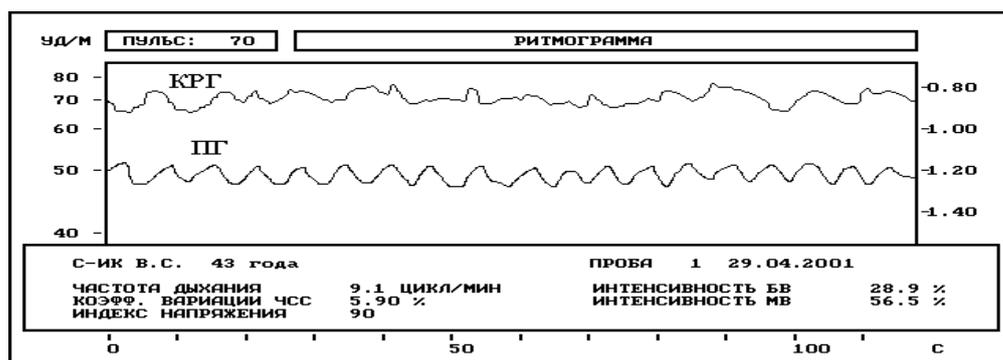
Целевая функция на каждую пробу биоуправления формируется адаптивным программным модулем. Ее параметры для каждой следующей пробы биоуправления задаются автоматически по результатам анализа предыдущей кардиоритмограммы. Экспертная часть адаптивного программного модуля не позволяет вывести параметры ЦФ за пределы индивидуальных физиологических возможностей тренирующихся, обеспечивая безопасность процедуры.



**Рис. 1.** Активная проба - отслеживание целевой функции (ЦФ) - синусоиды; элемент тренинга для усиления дыхательного компонента в сердечном ритме. Период ЦФ - 10.71 с, амплитуда - 0.05 с, период доминирующей гармоники 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 сверху - средняя частота сердечных сокращений за эпоху 120 с. В рамке в центре - фазовый сдвиг между КРГ и ЦФ, коэффициент кросскорреляции и среднеквадратическое отклонение (СКО) между ними.

Во время пробы, сеанса, а также на протяжении всего цикла биоуправления испытуемый не испытывает никаких нагрузок, он не должен следовать каким-либо жёстким инструкциям. Он располагается в комфортном помещении в удобном кресле, в удобной для него позе в состоянии расслабленного бодрствования, ему не предписывается выполнять какие-либо умственные упражнения или действия по самовнушению.

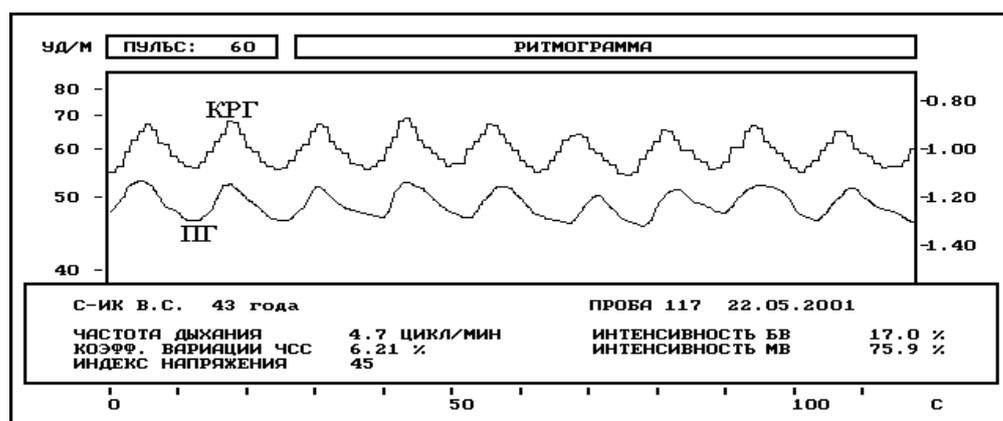
Рис. 2 демонстрирует исходные, а рис. 3 заключительные данные о состоянии кардиореспираторного взаимодействия пациента с нейроциркуляторной дистонией.



**Рис. 2.** Отсутствие кардиореспираторной синхронизации у пациента в исходном состоянии расслабленного бодрствования с закрытыми глазами.

Г - пневмограмма, БВ - быстрые волны, МВ - медленные волны.

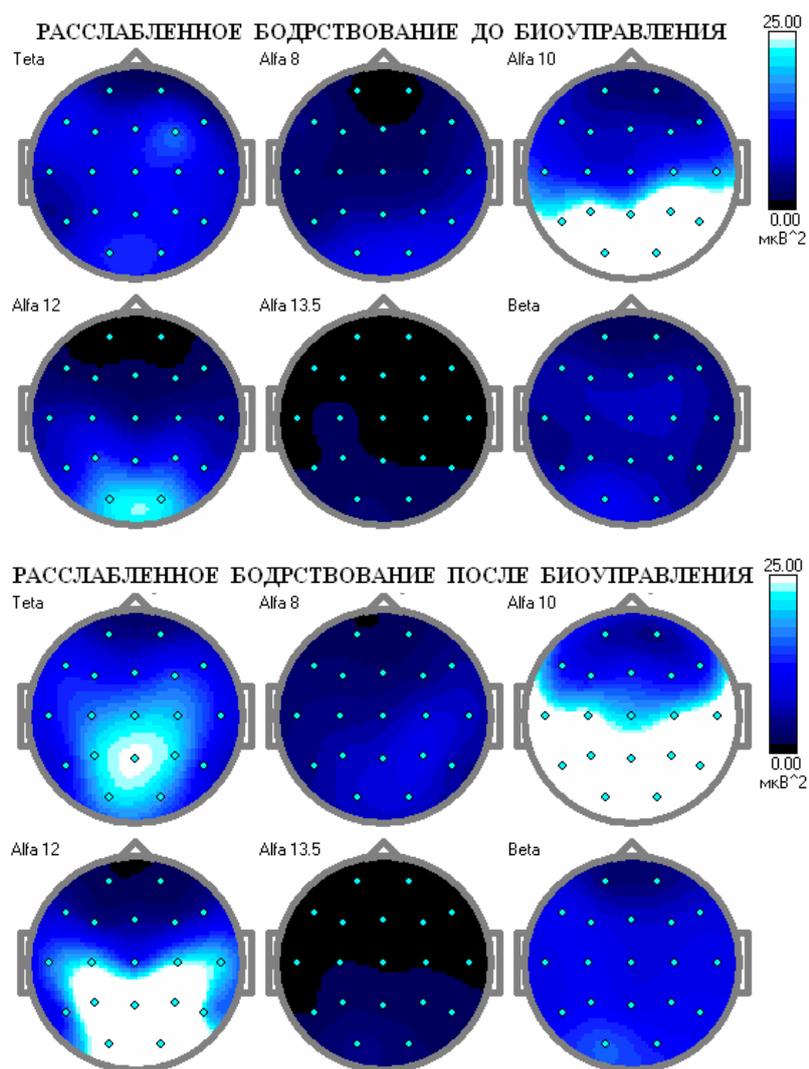
Нормализация вегетативного баланса, эффект восстановленной кардиореспираторной синхронизации сопровождаются нормализацией артериального давления, снижением напряжения, повышением функциональных резервов ЦНС.



**Рис. 3.** Восстановление кардиореспираторной синхронизации (состояние расслабленного бодрствования с закрытыми глазами) у того же пациента в результате кардиотренинга, состоявшего из 117 проб. Обозначения те же, что и на рис. 2.

На рис. 4 представлены спектральные характеристики электроэнцефалограммы (ЭЭГ) больной с головными болями напряжения до и после цикла кардиореспираторного тренинга. В исходном состоянии при закрытых глазах в низкоамплитудной ЭЭГ преобладали бета- и тета-волны, альфа-ритм частотой около 10 - 11 колебаний/с. Повышенная функциональная активность коры больших полушарий головного мозга в исходном состоянии спокойного бодрствования подтверждалась результатами психологического тестирования. В ЭЭГ, зарегистрированной после цикла кардиотренинга, состоявшего из 10 сеансов, имело место значительное увеличение интенсивности альфа-ритма по сравнению с исходными значениями и с расширением в сторону диапазона 12 колебаний/с. Таким образом, в результате проведения процедур биоуправления происходит усиление биоэлектрической активности головного мозга в альфа-диапазоне.

Обнаруженные факты сниженной функциональной активности коры головного мозга в состоянии расслабленного бодрствования с закрытыми глазами до кардиотренинга подтверждались результатами психологического тестирования, проводимого после циклов биоуправления. 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. Положительные эмоции, в свою очередь, вызывают дополнительный интерес к процессу тренинга, а достигнутые навыки и результат стимулируют использование приёмов саморегуляции в домашних условиях (без зрительного контроля). Эффект эмоционального подъёма, обусловленный положительными результатами и простотой тренинга, наблюдался у всех обследованных пациентов, а достигнутый положительный клинический результат, сопровождаемый повышением качества жизни, прослежен в течение года и более.



**Рис. 4.** Спектральные топограммы ЭЭГ. При расчёте спектров усреднялось 13 безартефактных участков ЭЭГ по 4 с каждый. 4 поддиапазона альфа-ритма: Alfa-8 -альфа-ритм 8-10 колебаний/с, Alfa-10 - 10-11,5 колебаний/с, Alfa-12 - 11,5-12,5 колебаний/с, Alfa-13,5 - 12,5-14 колебаний/с.

**Аппаратно-программный, реализующий алгоритм кардиореспираторного тренинга с обратной связью**

Аппаратно-программный комплекс (АПК) «Кардиотренажер ПКС-05» для коррекции функционального состояния механизмов регуляции сердечно-сосудистой системы человека является результатом многолетнего развития методик и технических средств для функционального биоуправления. Разработан на базе отдела экологической физиологии ФГБУ «НИИЭМ» СЗО РАМН.

«Кардиотренажер ПКС-05» обеспечивает:

- Регистрацию ЭКГ-сигнала с двух рук;
- Формирование сигнала обратной связи в виде кардиоритмограммы для непрерывного зрительного контроля в режиме реального времени;
- Адаптивное формирование целевой функции (эталонной синусоиды) для сеанса кардиотренинга индивидуально для каждого пациента;
- Анализ variability сердечного ритма в соответствии с международным стандартом.

Экологически “чистая” технология адаптивного биоуправления с обратной связью колебательного характера - это направленная психофизиологическая коррекция ритмов сердца и головного мозга за счёт периодической смены активации и торможения управляемой функции в пределах **индивидуальной физиологической нормы**. Кардиореспираторный тренинг рассматривается как средство психофизиологической поддержки стандартных лечебных мероприятий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулик А. Л., *Захват и удержание показателей variability сердечного ритма метрономизированной частотой дыхания у здоровых добровольцев*, Задерихин А. К., Шульгин В. И., Мартыненко А. В., Яблучанский Н. И., Вестник Харьковского национального университета имени Каразина В. Н., серия «Медицина», 2010, № 898, Выпуск 19, 46-52.
2. Lehrer P. M., *Resonant frequency biofeedback training to increase cardiac variability: rationale and manual for training*, Lehrer P. M., Vaschillo E., Vaschillo B., Appl Psychophysiol Biofeedback, 2000, № 25, 177-191.
3. Суворов Н. Б., *Адаптивное биоуправление в психофизиологической подготовке операторов*, Бюллетень СО РАМН, Булгакова О. С., Гусева Л., Меницкий Д. Н., Суворов Н. Б., 2004, № 3, с.18.
4. Суворов Н. Б., *Формирование в процессе кардиотренинга кардиореспираторной синхронизации у пациентов с острым инфарктом миокарда с разной степенью поражения коронарных артерий*, Кардиоваскулярная терапия и профилактика, Ярмош И. В., Болдуева С. А., Суворов Н. Б., 2010, № 9, с.385.
5. Nikolay Suvorov, *Psychophysiological training of operators in adaptive biofeedback cardiorhythm control*, The Spanish Journal of Psychology 2006, Vol 9, № 2, 193-200.
6. Nikolay Suvorov, *Biofeedback control and functional state correction*, Attractors, Signals and Synergetics, Lengerich, Berlin, Pabst Science Publishers, Klonowski W. (Ed.), 2002, p.547-552.

## TÓM TẮT

### PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN CHỨC NĂNG SINH HỌC THEO PHẢN HỒI TRONG PHÒNG BỆNH VÀ PHỤC HỒI SỨC KHỎE

Hiệu quả của sự thích nghi của cơ thể đối với các yếu tố ngoại cảnh được xác định bởi sự đồng bộ hóa giữa các hệ tim mạch - hô hấp. Ngày nay, việc phục hồi chức năng của lối hô hấp tự nhiên có thể được thực hiện bằng phương pháp điều khiển chức năng sinh học theo phản hồi. Nguyên tắc chủ yếu của phương pháp này là người tập luyện khi thực hiện bài tập phục hồi chức năng nào đó của cơ thể sẽ nhận được thông tin (ở dạng nghe nhìn) về tình trạng của chức năng đó. Họ cũng nhận được tiêu chuẩn tương ứng về trạng thái của chức năng cần phải đạt tới. Để phục hồi lại chức năng tim mạch - hô hấp bằng phương pháp này, mỗi khóa luyện tập được khuyến nghị thực hiện trong 10 - 15 ngày, mỗi ngày 6 - 8 lần với thời gian một lần tập là 2 phút trên thiết bị Кардиотренажер ПКС-05. Hiệu quả của việc luyện tập theo phương pháp điều khiển sinh học này được phân tích sau mỗi lần luyện tập cùng với kết quả của cả đợt tập luyện. Sự cải thiện sức khỏe của bệnh nhân có thể được ghi nhận qua các chỉ số trên ECG và EEG.

*Từ khóa: Phản hồi sinh học, đồng bộ hóa hệ tim mạch - hô hấp, hô hấp, nhịp tim.*

*Nhận bài ngày 19 tháng 01 năm 2014*

*Hoàn thiện ngày 11 tháng 3 năm 2014*

*ФГБУ «НИИЭМ» СЗО РАМН, Санкт-Петербург*