

Н.Л. Гусева, Д.Н. Меницкий, О.С. Булгакова, Н.Б. Суворов

АДАПТИВНОЕ БИОУПРАВЛЕНИЕ В ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ОПЕРАТОРОВ

НИИ экспериментальной медицины РАМН, Санкт-Петербург

Разработана и испытана индивидуально ориентированная компьютерная методика для психофизиологической подготовки операторов к выполнению операторской деятельности на компьютерной модели (психомоторный тест на концентрацию внимания и пространственную ориентацию) и формирования критериев отбора операторов. Предварительное тестирование качества операторской деятельности (ОД) показало большой индивидуальный разброс результатов. Количество ошибок – от 0 до 56. Скорость переработки информации (СПИ) – от 1,01 до 3,56 бит/с. У операторов с исходно выраженной респираторной синусовой аритмией (РСА) в виде собственной гармоник (СГ) кардиоритма, обусловленной дыхательными движениями, в исходном состоянии уровень ошибок распознавания был минимален при достаточно высокой СПИ; не изменился данный уровень и после цикла кардиотренинга, а СПИ повысилась. У операторов с исходно отсутствующей СГ после процедур биоуправления с обратной связью по сердечному ритму сформировалась собственная гармоника, а качество ОД значительно повысилось. Процедура функционального биоуправления способствовала не только восстановлению РСА, наличие которой рассматривается как благоприятный диагностический признак, но и повышению качества операторской деятельности.

Ключевые слова: биоуправление, подготовка операторов

Распространение использования различных автоматизированных систем, управление которыми носит монотонный характер с минимальными физическими, а иногда и умственными нагрузками для оператора, приводит к возникновению проблем, связанных с ослаблением внимания, сонливостью. В свою очередь эти состояния оператора могут приводить к аварийным ситуациям с непоправимыми последствиями. Для предотвращения подобных состояний существует и продолжает разрабатываться множество различных физиологических методов и биотехнических систем для повышения надежности деятельности человека-оператора [19–23]. Чтобы предотвратить нежелательные отклонения функционального состояния человека, необходимы экстренные меры для “взбадривания” в случае ослабления внимания и “пробуждения” – при наступлении дремотного состояния. Тем не менее аналитический обзор научной литературы и патентных источников показывает, что пока в мире нет достаточно эффективных методов, предупреждающих появление подобных состояний [19]. Однако поиски в этой области продолжаются [20–23].

Как известно, человеческий фактор был и остается причиной многих человеческих жертв на транспорте, а также и экономических потерь. Например, по данным статистики более 30% всех аварий на транспорте происходит по вине заснувшего водителя [9]. Поэтому до сих пор продолжают оставаться актуальными проблемы профессионального отбора, прогноза качества операторской деятельности, оперативной психофизиологической поддержки и “предстартовой” подготовки, оценки и поддержания состояния бдительности и внимания в условиях монотонии, а также эффективной реабилитации после выполнения особо ответственных работ.

Неблагоприятное влияние состояний, вызываемых монотонным трудом, отражается не только на профессиональной надежности оператора в связи с ухудшением качества его работы, но и на снижении функциональной надежности и уровня здоровья оператора из-за перенапряжения отдельных функций и систем организма,

а также истощения его функциональных резервов [3, 6, 10, 15].

Успешность исполнительской деятельности человека в системах управления зависит не только от состояния здоровья, его общей и профессиональной подготовки, но и от специфической способности человека трудиться длительное время с минимальным риском в изменчивой внешней среде. Для обеспечения этой возможности требуется разработка безопасных, не имеющих отрицательных последствий методов поддержания необходимого уровня функционального состояния. Известно, что сфера применения компьютерных систем с биологической обратной связью различных модальностей (биотехнические системы) для коррекции состояния человека с каждым годом расширяется [1, 2].

Основная цель работы: изучение возможностей применения ранее разработанной компьютерной технологии функционального адаптивного биоуправления со знакопеременной обратной связью по кардиоритму [15–17] для психофизиологической подготовки операторов перед выполнением психомоторной деятельности на компьютерной модели (тест на концентрацию внимания и пространственную ориентацию) и формирование некоторых критериев прогноза качества операторской деятельности.

Методика. Одной из задач адаптивного функционального биоуправления с обратной связью (ФБУОС) является мобилизация внимания оператора перед выполнением ответственной деятельности и реабилитация после ее завершения.

Психомоторные тесты по оценке способностей к анализу пространственной ориентации зрительных образов, на концентрацию внимания и скорость переработки зрительной информации позволяют оценить эффективность мобилизационных и реабилитационных процедур адаптивного кардиотренинга как одного из способов ФБУОС.

Исследования проведены на добровольцах – студентах технического вуза, имевших опыт операторской дея-

тельности на компьютерных тренажерах в течение нескольких лет [12]. Состав и численность группы были обусловлены последним обстоятельством и результатами предварительного тестирования в самом начале цикла исследований в 2000 году. Им рекомендовалось не вносить изменений в свой привычный распорядок жизни, а в день исследования исключить влияющие на нервную систему напитки (крепкий чай, кофе, алкоголь). Было исключено использование каких-либо фармакологических препаратов. Эти ограничения были необходимы для определения индивидуальных механизмов регуляции кардиоритма, а также для обеспечения изолированного психофизиологического действия биологической обратной связи. Все поставленные условия (по отчетам операторов) были соблюдены.

В настоящем исследовании применен один из компьютерных тестов на пространственное мышление, концентрацию внимания, скорость переработки зрительной информации. Он используется в общей и профессиональной психодиагностике, педагогике (определение эффективности обучения), медицине (оценка эффективности терапии при повреждениях головного мозга), а также может считаться своеобразной моделью операторской деятельности. Сущность методики заключается в осуществлении оператором дифференцированных реакций на изменение положения в пространстве и цвета предъявляемого образа-стимула, измерении времени реагирования, регистрации количества правильных ответов и скорости переработки информации (СПИ).

В первый день после беседы о целях и задачах исследования испытуемым предъявлялся описанный психологический тест. Результаты теста являлись опорными для сравнения с данными тестирования после цикла процедур адаптивного кардиотренинга.

Первое занятие по биоуправлению являлось вводным; на нем объяснялись задачи, условия и основные приемы тренинга. Испытуемых знакомили с аппаратурой и методикой тренинга, поясняли, что на экране монитора они видят колебания собственного сердечного ритма, отражающие поударную частоту пульса. Демонстрировалась их зависимость от дыхательных движений – при вдохе кривая кардиоритма идет вверх (частота сердечных сокращений (ЧСС) растет), при выдохе – вниз (ЧСС падает). В начале сеанса регистрировалась исходная (фоновая) кардиоритмограмма (КРГ) в состоянии расслабленного бодрствования с закрытыми глазами. Далее проводились 5 активных проб управления собственным кардиоритмом. В конце сеанса производилась регистрация заключительной КРГ также в состоянии расслабленного бодрствования с закрытыми глазами. Перерывы между пробами длились 2–3 мин. Продолжительность одного сеанса кардиотренинга – около 30 мин. Время начала занятия для каждого оператора не менялось на протяжении всего цикла биоуправления, состоявшего из пяти сеансов – каждый день по сеансу.

В работе использовалась биотехническая система “Кардиотренинг”. Сущность ее работы заключается в следующем: после обработки на монитор компьютера в реальном времени предъявляется сигнал обратной связи в виде огибающей КРГ пациента; одновременно на экран выводится синусоидальная кривая – целевая функция (ЦФ), с амплитудой и периодом которой пациент

должен стараться совмещать собственную КРГ во время тренинга (рис. 1). Многократно показано, что колебательный режим является адекватным приемом для изучения особенностей произвольной дыхательной модуляции колебаний кардиоритма, способствует нормализации вегетативного баланса и повышению резервов кардиоваскулярной системы [4, 7, 8, 11, 18, 24].

Программное обеспечение системы “Кардиотренинг” и его аналитические возможности подробно описаны ранее [15–17]. Основным методом обработки данных в настоящем исследовании был выбран анализ колебательных составляющих кардиоритма со следующим графическим представлением: по вертикальной оси – амплитуда гармоник с единицей измерения секунда; по горизонтальной оси – номер гармоники с индикацией значения ее периода. Такая нестандартная форма представления была обусловлена спецификой исследования, в котором периоды и амплитуды основных гармоник являлись опорными величинами для формирования ЦФ биоуправления.

Результаты тренинга признавались удовлетворительными при достоверно высоком коэффициенте корреляции между КРГ и ЦФ с учетом фазового сдвига (рис. 1). В настоящем исследовании особое внимание обращалось на наличие или отсутствие феномена респираторной синусовой аритмии (дыхательно-сердечной синхронизации) в исходном состоянии расслабленного бодрствования. Дальнейшей задачей было, соответственно, усиление, восстановление или формирование гармоник, связанной с дыхательными движениями и названной нами собственной гармоникой (СГ).

Результаты. Поскольку дыхательно-сердечная (кардиореспираторная) синхронизация, выражающаяся в формировании СГ, связанной с дыхательными движениями, является благоприятным диагностическим признаком [7, 18], результаты функционального биоуправления рассматриваются с учетом этого фактора и качества операторской деятельности.

Технология функционального адаптивного биоуправления кардиоритмом с обратной связью колебательного типа была предварительно испытана на десятках больных, спортсменов, сотнях работников перерабатывающих отраслей промышленности и зарекомендовала себя как средство дополнительной диагностики, терапии (в сочетании со стандартными схемами лечения), реабилитации и коррекции состояния человека [1, 15, 17]. Богатый опыт применения биоуправления в терапевтических целях обобщается в отечественной литературе [2, 11].

Польза ФБУОС была выявлена при психофизиологической подготовке врачей скорой помощи до и во время суточного дежурства [8]. Очевидно, что такая поддержка должна носить индивидуальный характер, поскольку было бы ошибкой проводить для всех операторов стандартные процедуры.

Исследования эффективности операторской деятельности в условиях монотонии, проведенные на этой же группе добровольцев в 2001 г. [12], показали, что все они относятся к категории адаптивных по классификации, разработанной в Отделе экологической физиологии НИИ экспериментальной медицины РАМН [5, 14]. Несмотря на это, у участников данной группы проявились индивидуальные особенности адаптивной саморе-

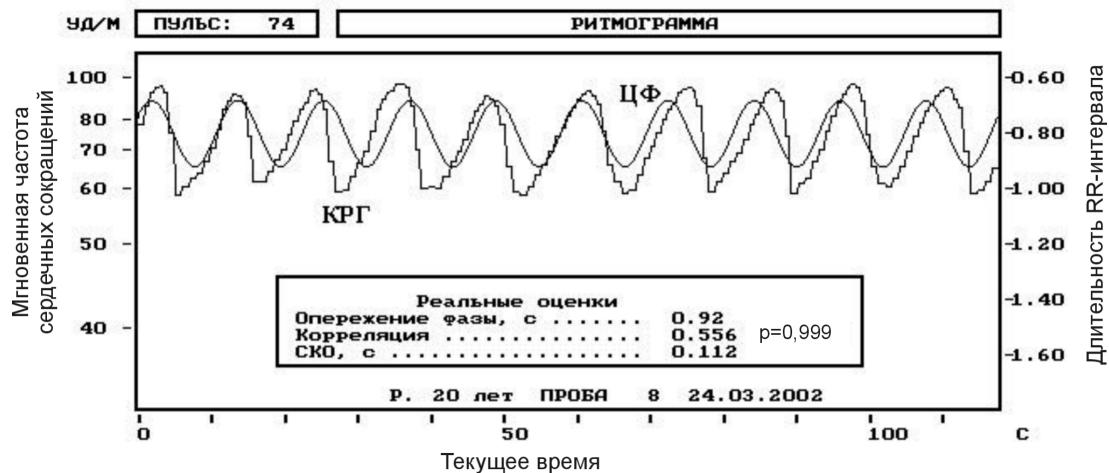


Рис. 1. Кардиоритмограмма в активной 8-й пробе: отслеживание целевой функции–синусоиды с периодом 11.78 с – элемент тренинга для восстановления дыхательного компонента в сердечном ритме.

Слева вверху в рамке – средняя частота сердечных сокращений за эпоху 120 с. В рамке в центре – фазовый сдвиг между КРГ и ЦФ; коэффициент кросскорреляции между ними; среднеквадратическое отклонение (СКО)

гуляции ритмов сердца, что не позволило проводить процедуры усреднения. Выразилось это в том, что эффективность цикла функционального биоуправления с обратной связью по сердечному ритму из 5 сеансов и 35 проб оказалась различной. Для выявления феномена восстановления (формирования) собственной гармоничности сердечного ритма (дыхательно-сердечной синхронизации) оценивались количество проб, амплитуда СГ и ее период. Некоторым испытуемым пяти сеансов (25 активных проб) оказалось недостаточно для получения устойчивого и хорошо выраженного эффекта респираторной синусовой аритмии как показателя вегетативного баланса. Тем не менее у 8 из 9 участников в результате кардиотренинга произошло усиление или формирование собственной гармоничности, обусловленной дыхательными движениями. Ее период варьировал в широких пределах быстрых волн (БВ) и медленных (МВ) – от 5 до 13 с (табл. 1). У 2 операторов (Ф. и Д.) СГ была хорошо выражена в исходном состоянии в первый день исследования – 1.07.02; ее период не изменился в результате функционального биоуправления, а амплитуда значительно выросла (рис. 2а, 2б и рис. 3а, 3б). Количество ошибочных решений по всей группе операторов при первом выполнении теста сильно варьировало от 0 до 56, а после сеансов кардиотренинга – от 0 до 13 (табл. 2).

В исследовании приняли участие операторы, имевшие прежде опыт работы в психофизиологической лаборатории и потому достаточно привычные к условиям проведения процедур [12]. Исходное состояние операторов по основным параметрам кардиоваскулярной системы было хуже по сравнению с 2001 годом (табл. 1). Вероятно, это объясняется тем, что по данным научных исследований и периодической печати состояние здоровья студентов в ходе учебы в вузе ухудшается. Предварительное тестирование качества операторской деятельности (ОД) показало большой индивидуальный разброс результатов (табл. 2): количество ошибок – от 0 до 56, скорость переработки информации – от 1.01 до 3.56 бит/с. Качество ОД (количество ошибок и скорость переработки информации) большинства испытуемых до поддерживающего цикла функционального биоуправ-

ления нельзя было признать удовлетворительным. У операторов Б. и К. прогресса вообще не было. В сердечном ритме оператора Б. за 5 сеансов кардиотренинга СГ не сформировалась (рис. 4), однако в исследованиях, проведенных через полтора года (в 2003 году), СГ с амплитудой 25 мс появилась (табл. 1).

Опыт использования биоуправления в лечебных целях показал, что собственная гармоничность в КРГ, обусловленная дыхательными движениями, может быть восстановлена практически у каждого пациента независимо от возраста, хотя иногда для этого требуется до 15–20 сеансов. Достигнутые в ходе тренировочных процедур результаты по данным разных авторов устойчиво сохраняются длительное время. Это подтвердилось нашими исследованиями 2003 года (табл. 1), в которых принимали участие те же операторы. У всех испытуемых, кроме М., собственная гармоничность в состоянии расслабленного бодрствования с закрытыми глазами сохранилась, но изменился ее период. Изменение периода СГ можно объяснить влиянием различных факторов. Возможно, 25 активных проб кардиотренинга не хватило для окончательного определения и закрепления формирующейся СГ кардиоритма; нельзя исключить влияние физиологических факторов растущего организма (возраст операторов 20–22 года), а также изменение ритма дыхания. Но в целом то, что СГ кардиоритма у 8 из 9 операторов сохранилась даже через 1,5 года после проведенных сеансов кардиотренинга, является подтверждением его длительного положительного действия на сердечно-сосудистую систему.

У оператора К. в серии 2002 г. к концу тренинга амплитуда собственной гармоничности в диапазоне медленных волн усилилась многократно, а результат как по числу ошибок, так и по СПИ оказался хуже, чем в исходном состоянии – это произошло на фоне значительного снижения артериального давления (АД).

Среди остальных испытуемых выделяется оператор Пе., показавший большой прогресс в качестве ОД (ошибки – 56 и 3; непропорционально небольшое снижение СПИ) на фоне 14-кратного роста амплитуды СГ. У оператора Па. также имела место выработанная СГ и

Таблица 1

Основные показатели кардиоваскулярной системы испытуемых

Оператор	2001 год		2002 год							ЧСС	АД	Период СГ, с	Амплитуда СГ, с
	ЧСС	АД	ЧСС		АД		Период СГ, с	Амплитуда СГ, с					
			1.07	5.07	1.07	5.07		1.07	5.07				
К.	71	107/67	93	82	115/76	88/61	13,01	0,002	0,113	76	109/76	5,3	0,029
Па.	62	127/63	91	85	128/69	111/69	6,93	0,001	0,047	81	135/67	9,4	0,037
Пу.	78	116/68	84	90	124/75	114/69	9,81	0,006	0,092	81	108/74	7,1	0,029
Пе.	54	106/64	61	86	110/68	104/64	5,12	0,003	0,043	61	100/60	3,8	0,034
О.	68	121/70	83	83	116/76	101/72	7,85	0,004	0,055	86	116/76	9,4	0,029
Д.	69	127/70	106	83	119/76	119/75	9,81	0,021	0,086	74	121/69	7,9	0,057
М.	60	110/67	85	74	116/70	117/70	9,06	0,016	0,050	69	118/72	11,54	0,023
Ф.	65	107/67	76	80	113/64	118/68	11,78	0,055	0,084	74	104/67	7,5	0,082
Б.	63	122/70	78	84	137/79	127/72	11,78	0,008	0,010	70	119/78	10,72	0,025

соответствующее улучшение качества ОД по всем параметрам (ошибки 11 и 0; СПИ 1,64 и 2,28). Результаты остальных операторов характеризуются, в основном, увеличением такой важной характеристики ОД, как скорость переработки информации, и малым количеством ошибок или их отсутствием как в предварительном, так и в заключительном тестировании (табл. 1). При этом у них сформировалась или увеличилась амплитуда СГ. У операторов Ф. и Д. дыхательно-сердечная синхронизация была зафиксирована в исходном состоянии и, соответственно, уровень ошибок распознавания был минимален при достаточно высокой СПИ и не изменился в тесте после сеанса кардиотренинга, а СПИ стала еще выше. Если говорить о средних результатах тестирования, то количество ошибок уменьшилось в 2,8 раза, а скорость переработки информации увеличилась в 1,3 раза.

Вышеизложенное дает основания считать, что процедура функционального биоуправления способствовала не только восстановлению дыхательно-сердечной синхронизации, сохранившейся в течение полутора лет, но и повышению качества операторской деятельности, оценивавшейся по снижению количества ошибок и по скорости переработки информации. Этот прогресс касается большинства операторов. Отрицательный результат связан с индивидуальными причинами, сопровождавшимися падением АД. У другого оператора отсутствие сформированной собственной гармоники сопровождалось отсутствием положительного результата операторского теста. Важным является также тот факт, что операторы с выраженным эффектом дыхательной аритмии, в отличие от остальных, не имели проблем с первоначальным

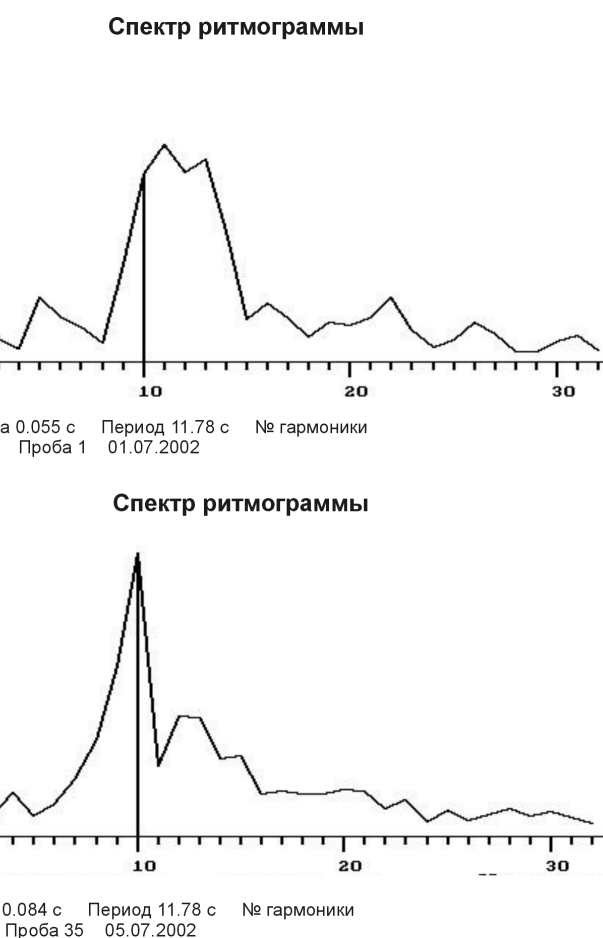


Рис. 2. Ритмический состав кардиоритмограммы оператора Ф. в исходном состоянии 1.07.02 (а) и после завершения цикла кардиотренинга 5.07.02 (б)

выполнением теста, а после цикла адаптивного биоуправления у них повышалась скорость переработки информации. Наличие в группе обследованных операторов с отрицательным и отсутствующим результатами не позволяет связывать повышение качества ОД с повторным применением теста.

Таким образом, с большой долей уверенности можно говорить о том, что одним из важных оперативных прогностических критериев “успешности” оператора является наличие в состоянии расслабленного бодрствования с закрытыми глазами респираторной синусовой аритмии (РСА), которая по данным специалистов наблюдается, в основном, у молодых здоровых людей [4, 18, 24]. Функциональное биоуправление по кардиоритму, основанное на психофизиологических механизмах и реализованное посредством индивидуальных адаптивных алгоритмов, способно восстановить утраченную РСА в виде собственной гармоничности сердечного ритма, синхронизированной с ритмом дыхания, и тем самым подготовить оператора к более качественному выполнению операторской деятельности.

При отборе операторов предпочтение следует отдавать адаптивным типам, которые, как показали натурные исследования в экстремальных условиях, более устойчивы не только к невротическим срывам, но и соматическим расстройствам. Для этих лиц показания для мобилизации или реабилитации в биотехнических системах с обратной связью возникают лишь в отдельных случаях, по необходимости. Низкоадаптивным личностям показаны систематические сеансы саморегуляции, но требуется дифференцированный индивидуальный подход. Использование биотехнических систем в процессе комплексной предвахтовой подготовки специалистов оправдано во всех случаях.

Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать пути практической реализации системы мер подготовки операторов с целью мобилизации резервов и повышения эффективности операторской деятельности. К ним относится индивидуальная предстартовая подготовка оператора в аппаратно-программном комплексе функционального биоуправления с обратной связью с целью оперативного формирования респираторной синусовой аритмии. Наличие в кардиоритме в состоянии расслабленного бодрствования с закрытыми глазами собственной гармоничности является критерием повышения качества операторской деятельности.

ADAPTIVE BIOFEEDBACK FOR PSYCHOPHYSIO-LOGIC OPERATORS TRAINING

N.L. Guseva, D.N. Menitsky, O.S. Bulgakova, N.B. Suvorov

A computerized individual technique is elaborated and examined for psychophysiologic training of operators before carrying out a psychomotor activity on a computer model (psychomotor test for concentration of attention and spatial orientation) and for-

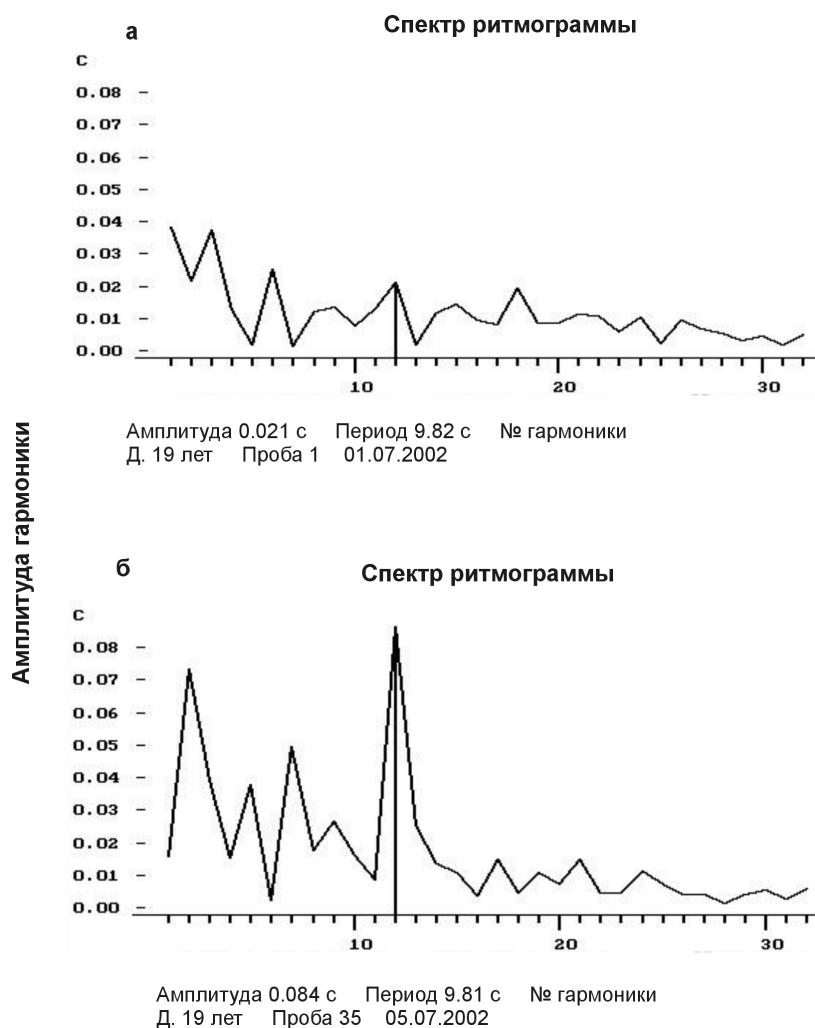


Рис. 3. Ритмический состав кардиоритмограммы оператора Д.

Таблица 2

Основные показатели качества деятельности

Оператор	Количество ошибок		Наличие собственной гармоничности		СПИ (бит/с)		СПИ _{5.07} СПИ _{1.07}
	1.07	5.07	1.07	5.07	1.07	5.07	
К.	7	13	Нет	Да	3,56	3,39	0,95
Па.	11	0	Нет	Да	1,64	2,28	1,39
Пу.	3	0	Нет	Да	1,78	2,76	1,55
Пе.	56	3	Нет	Да	1,34	1,12	0,84
О.	5	4	Нет	Да	2,06	3,18	1,55
Д.	1	0	Нет	Да	2,60	3,03	1,17
М.	5	5	Нет	Да	1,31	2,03	1,55
Ф.	0	1	Да	Да	2,04	3,30	1,62
Б.	10	9	Нет	Нет	1,01	1,30	1,29
Среднее	10,889	3,889			1,927	2,488	1,291
Ошибки среднего	5,772	1,513			0,259	0,285	

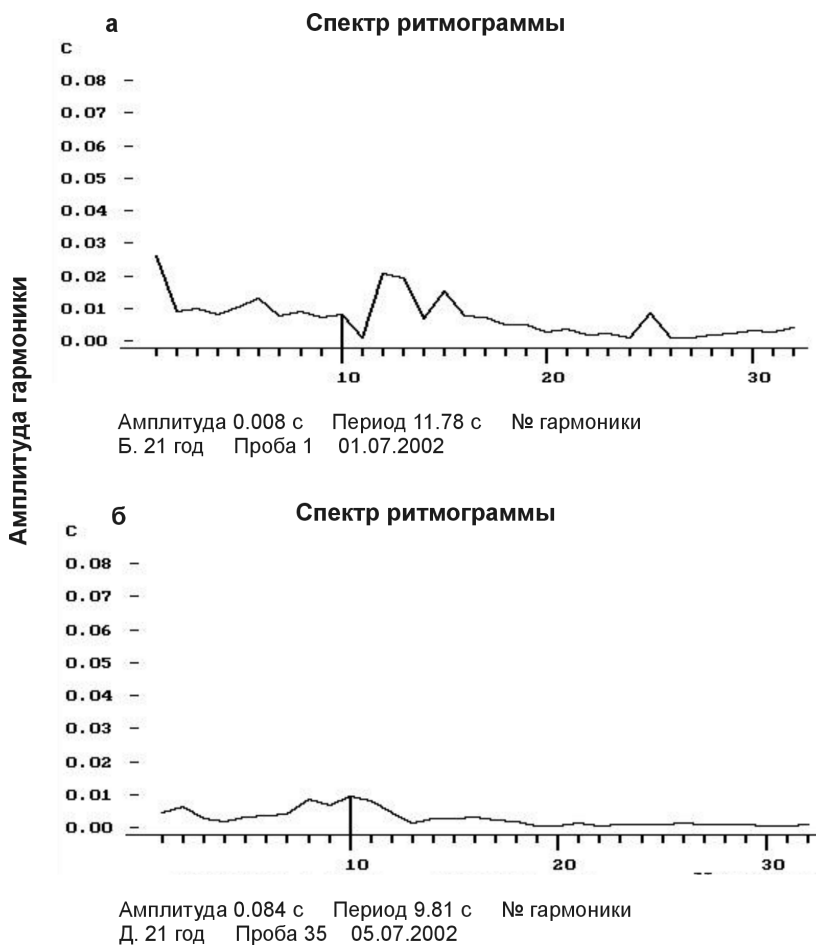


Рис. 4. Ритмический состав кардиоритмограммы оператора Б.

mulation of some criteria of forecast of safe operator activity. A preliminary testing of operator activity quality has shown large individual results scattering. The quantity of mistakes fluctuated from 0 up to 56. Rate of information processing (RIP) varied from 1.01 up to 3.56 bit/s. The level of recognition mistakes in initial state was minimal at high RIP at the operators with the initially expressed respiratory sinus arrhythmia (RSA) or synchronization caused by respiratory movements. The mistakes number did not change after the biofeedback cardiotraining cycle, and RIP increased noticeably. The own harmonic recovered (formed) in cardiorhythm of operators with initially absent RSA as a result of the biofeedback course. At the same time the quality of operators' activity increased considerably. It is marked both a decrease of mistakes quantity and a RIP increasing. The procedure of functional biofeedback promoted not only restoration of RSA or cardiorespiratory synchronization, which presence is considered as a favorable diagnostic sign, but also increasing of quality of operator activity.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биоуправление-3: теория и практика / Под ред. М.Б. Штарк, R. Call. Новосибирск, 1998. 300 с.
2. Биоуправление-4: теория и практика / Под ред. М.Б. Штарк, M. Schwartz. Новосибирск, 2002. 350 с.
3. Бодров В.А. Проблема профессиональной и функциональной надежности оператора / В.А. Бодров // Психол. журн. 1989. Т. 10. № 4. С. 142–149.

Вариабельность ритма сердца: представления о механизмах / С.А. Котельников, А.Д. Ноздрачев, М.М. Одинак и др. // Физиология человека. 2002. Т. 28. № 1. С. 130–143.

Василевский Н.Н., Суворов Н.Б., Сидоров Ю.А., Бовтюшко В.Г. // Вестник РАМН. 1996. № 9. С. 14–18.

Дядичкин В.П. Психофизиологические резервы повышения работоспособности / В.П. Дядичкин. Минск, 1990. 120 с.

Зингерман А.М. Энтропийно-статистические, спектральные, условно-вероятностные и детерминированные характеристики сердечного ритма в различных функциональных состояниях / А.М. Зингерман, М.А. Константинов // Журн.: Успехи физиол. наук. 1988. С. 40–55.

Компьютерные технологии в управлении, диагностике и образовании: Сб. трудов Межд. науч.-техн. конф. / О.С. Булгакова, Д.В. Савельев, Н.Б. Суворов и др. Тверь, 2002. С. 94–95.

Корен С. Тайны сна / С. Корен. М., 1997. 416 с.

Кошечев В.С. Здоровье работающего человека и некоторые подходы к его количественной оценке / В.С. Кошечев, А.Ф. Бобров, В.Ю. Щербанов // Гигиена и санитария. 1989. № 9. С. 4–8.

11. Материалы междисциплинарной конференции с международным участием "Новые биокрибернетические и телемедицинские технологии XXI века для диагностики и лечения заболеваний человека" / С.А. Болдуева, Н.Б. Суворов, Н.Л. Фролова и др. Петрозаводск, 2002. С. 3–4.
12. Проблема надежного распознавания переходной фазы "бодрствование-сон" во время операторской деятельности / Н.Б. Суворов, Д.Н. Меницкий, Н.В. Лазарев и др. // Вестник С.-З. Регион. отдел. Акад. медико-техн. наук. № 7. СПб., 2003. С. 135–154.
13. Свиридов Е.П. Оценка функциональных резервов операторов в состоянии утомления / Е.П. Свиридов // Методика и техника психофизиологических исследований операторской деятельности. М., 1984. С. 42–46.
14. Сороко С.И. Произвольный контроль уровня биоэлектрической активности мозга человека как метод изучения саморегуляционных свойств центральной нервной системы / С.И. Сороко, Н.Б. Суворов, С.С. Бекшаев / Под ред. Н.Н.Василевского // Адаптивная саморегуляция функций. М., 1977. С. 206–248.
15. Суворов Н.Б. // Телемедицина. Новые информационные технологии на пороге XXI века. СПб., 1998. С. 253–272.
16. Суворов Н.Б. Информационно-управляющие системы. 2002. № 1. С. 57–64.

17. Суворов Н.Б., Меницкий Д.Н., Фролова Н.Л. // Биоуправление-3: теория и практика. Новосибирск, 1998. С. 69–79.
18. Cardiorespiratory interactions during resistive load breathing / P. Calabrese, H. Perrault, Tuan Pham Dinh et al. // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 2000. Vol. 279 (3): R2208–R2213.
19. Dinges D.F. Critical research issues in development of biomathematical models of fatigue and performance / D.F. Dinges // Aviat Space Environ Med. 2004. Vol. 75 (3 Suppl). A181–191.
20. Dijk D.J. Fatigue and performance models: general background and commentary on the circadian alertness simulator for fatigue risk assessment in transportation. D.J. Dijk, W. Larkin // Aviat Space Environ Med. 2004. Vol. 75 (3 Suppl). A119–121.
21. Mackie R.R. Countermeasures to loss of alertness in truck drivers – theoretical and practical considerations / R.R. Mackie, C.D. Wylie // In: M.Vallet (ed) Le Maintien de la Vigilance dans les Transports. Caen: Paridigme, 1991. P. 113–141.
22. Maycock G. Sleepiness and driving: the experience of UK car drivers / G. Maycock // J. Sleep Res., 1996. Vol. 5. P. 229–237.
23. Moore-Ede M. Circadian alertness simulator for fatigue risk assessment in transportation: application to reduce frequency and severity of truck accidents / M. Moore-Ede, A. Heitmann // Aviat Space Environ Med. 2004. Vol. 75 (3 Suppl). A107–118.
24. Richter D.V. Cardiorespiratory control / D.V. Richter, K.M. Spyer // Central regulation of autonomic functions. N.Y.: Oxford Univ. Press. 1990. P. 189.