

деятельности; способны к парадоксальному улучшению показателей результативности действий именно после ошибок.

Тест «Стрелок» был протестирован нами на различных возрастных и профессионально ориентированных группах испытуемых. Разработанный нами экспресс-метод оценки позволяет выявлять индивидуально-типологические, психофизиологические качества человека при целенаправленной деятельности, которые взаимосвязаны с гендерными, возрастными, профессиональными и должностными характеристиками испытуемых (Патент на изобретение РФ № 2314029).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Анохин П.К.* Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. Сборник. Принципы системной организации функций. – М.: Наука, 1973. – С.5–61.
2. *Гуляева С.И., Муртазина Л.П., Журавлев Б.В.* Особенности двигательной активности и сердечной деятельности человека при выполнении теста «Стрелок» / ЖВНД – 2002. Т.52 – №1. – С.17-24.
3. *Судаков К.В.* Рефлекс и функциональная система. – Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 1997. – 399 с.

УДК 612.821

Н.Б. Суворов

АКТУАЛИЗАЦИЯ РЕЗЕРВОВ ОПЕРАТОРА В БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Использование различных автоматизированных систем, управление которыми носит монотонный характер с минимальными физическими, а иногда и умственными нагрузками на оператора, приводит к ослаблению внимания, утомлению, сонливости. Эти состояния оператора могут приводить к аварийным ситуациям с непоправимыми последствиями. Для повышения надежности человека-оператора существует и продолжает разрабатываться множество различных психофизиологических методов и биотехнических систем. Для предотвращения нежелательных отклонений функционального состояния человека необходимы экстренные меры для “стимуляции” в случае ослабления внимания и “пробуждения” – при наступлении дремотного состояния. Анализ показывает, что пока нет достаточно эффективных методов, предупреждающих появление подобных состояний. Поэтому 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 монотонной деятельности, а также эффективной реабилитации после выполнения особо ответственных работ. В настоящее время требуется разработка безопасных, не имеющих отрицательных последствий, методов поддержания необходимого уровня функционального состояния. Известно, что сфера применения компьютерных систем с биологической обратной связью (biofeedback) различных модальностей (биотехнические системы) для коррекции состояния человека с каждым годом расширяется.

Биологическое управление (biofeedback control) – это метод системного исследования и системно-статистического анализа, при котором совокупность и последовательность (очередность) воздействий на исследуемый объект находится в функциональной причинно-следственной связи с состоянием его измеряемых и регулируемых параметров. Независимо от исходного состояния и первоначальных реакций все последующие действия должны неизбежно приводить систему к формированию оптимального поведения и достижению конечного положительного психофизиологического результата. Технология адаптивного

биологического управления с обратной связью (adaptive biofeedback control) – это комплексная научно-исследовательская процедура. Информация о состоянии и изменении тех или иных регулируемых физиологических процессов предъявляется испытуемому посредством внешней обратной связи, формирующей сигналы обратной афферентации и организованной преимущественно средствами компьютерной или микропроцессорной техники (Suvorov, 1998). При этом используются зрительные, слуховые или тактильные образы, что при активном участии испытуемого позволяет развить навыки саморегуляции и самоконтроля, произвести коррекцию собственного состояния (Shtark, Schwartz, 2002).

Неотъемлемой частью адаптивной биотехнической системы является аналитический адаптивный модуль, который в реальном времени формирует сигналы обратной связи и осуществляет преобразование и анализ совокупности текущих переменных объекта для характеристики его поведения во времени.

В многолетних исследованиях, инициатором которых был чл.-корр. РАМН Н.Н. Василевский, получен ряд важных результатов, которые породили уверенность в том, что применение биологической обратной связи как нефармакологического средства психофизиологической поддержки стандартных методов лечения значительно повышает их эффективность.

Основная цель работы – оценка эффективности ранее разработанной компьютерной технологии функционального адаптивного биологического управления с колебательным характером сигнала обратной связи по сердечному ритму – кардиотренинг (Суворов, 1998; Суворов и соавт., 2004) для психофизиологической подготовки (мобилизации) операторов перед выполнением психомоторной деятельности на компьютерной модели (тест на концентрацию внимания и пространственную ориентацию) и формирование некоторых критериев прогноза качества операторской деятельности.

Исследования проведены на испытуемых-добровольцах – 15 студентах технического университета мужского пола, имевших опыт работы на компьютерных тренажерах при моделировании операторской деятельности. В настоящем исследовании применен один из компьютерных тестов на пространственное мышление, концентрацию внимания, скорость переработки зрительной информации. В первый день после беседы о целях и задачах исследования испытуемым предъявлялся описанный психомоторный тест. Результаты теста являлись опорными для сравнения с данными тестирования после цикла процедур адаптивного кардиотренинга с использованием биологической обратной связи.

Подробно технология кардиотренинга описана ранее (Суворов, 1998; Суворов и соавт., 2004). После обработки на монитор компьютера в реальном времени предъявляется сигнал обратной связи в виде собственной кардиоритмограммы (КРГ); одновременно на экран выводится синусоидальная кривая – целевая функция (ЦФ). Задачей испытуемого при тренировке является периодическое повышение/понижение частоты сердечных сокращений при непрерывном зрительном контроле – испытуемый старается совместить собственную КРГ с целевой функцией. Многократно показано, что колебательный режим обратной связи является адекватным приемом для изучения особенностей произвольной дыхательной модуляции колебаний кардиоритма, способствует нормализации вегетативного баланса и повышению функциональных резервов сердечно-сосудистой системы.

Принципиальным отличием от других систем является наличие в системе адаптивного модуля (Суворов, 2004). Задание на каждую последующую пробу формируется на основании анализа предыдущей пробы. Если испытуемый успешно справился с предыдущим заданием, адаптивный модуль автоматически повышает его сложность, соответствующим образом изменяя амплитуду, период и значение постоянной составляющей ЦФ. В противном случае задание автоматически упрощается. Экспертная часть адаптивного программного модуля не позволяла вывести параметры ЦФ за пределы индивидуальных физиологических возможностей испытуемых.

Основным методом обработки данных был выбран анализ колебательных составляющих ритма сердца методом быстрого преобразования Фурье. Результаты тренинга признавались удовлетворительными при достоверно высоком коэффициенте кросскорреляции между КРГ и ЦФ. Особое внимание обращалось на наличие или отсутствие феномена дыхательной аритмии или кардиореспираторной синхронизации в состояниях расслабленного бодрствования. Задачей тренировок было усиление, восстановление или формирование гармоник, связанной с дыхательными движениями и названной собственной гармоникой (СГ).

Биологическая обратная связь колебательного характера информационно и ритмологически совместима с жизненно важными функциями организма и позволяет тренировать регуляторные процессы в их естественном временном диапазоне. Кардиореспираторная синхронизация, выражающаяся в формировании СГ, является благоприятным диагностическим признаком, поэтому результаты исследований рассматривались с учетом этого фактора и качества деятельности.

Технология функционального адаптивного биоуправления кардиоритмом колебательного типа была ранее 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.

Исследования эффективности операторской деятельности в условиях монотонии, проведенные на этой же группе испытуемых ранее, показали, что все они относились к категории адаптивных по классификации, разработанной в отделе экологической физиологии Института экспериментальной медицины РАМН (Василевский, Суворов, Бекшаев, 1988). Тем не менее у них проявились индивидуальные особенности адаптивной саморегуляции ритма сердца. Эффективность цикла тренинга из 5 сеансов и 35 проб оказалась различной. Не всем испытуемым этого цикла оказалось достаточно для получения устойчивого и хорошо выраженного эффекта синхронизации ритмов сердца и дыхания. У 14 операторов в результате кардиотренинга произошло усиление или формирование СГ, обусловленной дыхательными движениями. Ее период варьировал в широких пределах быстрых и медленных волн – от 5 до 13 секунд (табл. 1). У двух испытуемых (Ф. и Д.) собственная гармоника была хорошо выражена в исходном состоянии в первый день исследования – 1.07.02, ее период не изменился в результате адаптивного тренинга, а амплитуда значительно выросла. Количество ошибочных решений по всей изученной группе при первом выполнении теста сильно варьировало – от 0 до 56, а после сеансов кардиотренинга – от 0 до 13 (табл.).

Предварительное тестирование качества операторской деятельности показало большой индивидуальный разброс в скорости переработки информации (СПИ) – от 1,01 до 3,56 бит/с. Качество деятельности (количество ошибок и скорость переработки информации) большинства испытуемых до поддерживающего цикла адаптивного биоуправления нельзя было признать удовлетворительным.

В сердечном ритме испытуемого Б. СГ не сформировалась. Наш опыт использования колебательного режима управления в лечебных целях показал, что СГ, обусловленная дыхательными движениями, может быть восстановлена практически у каждого пациента независимо от возраста.

Устойчивость достигнутых результатов подтвердилась в исследовании тех же испытуемых через 1,5 года. У всех СГ сохранилась, у оператора Б. ее амплитуда увеличилась. Тот факт, что СГ сохранилась даже через 1,5 года после проведенных сеансов кардиотренинга, является подтверждением его положительного действия на кардиоваскулярную систему.

У испытуемого К. к концу тренинга амплитуда СГ многократно усилилась. Однако ре-

Раздел I. Медицинская диагностика и терапия

зультат как по числу ошибок, так и по СПИ оказался хуже, чем в исходном состоянии. Это произошло 5.07.02 на фоне значительного снижения АД – до 90/60 мм ртутного столба. Среди остальных испытуемых выделился Пе., показавший большой прогресс в качестве выполнения теста (ошибки – 56 и 3) при 14-кратном росте амплитуды СГ. Сходный результат показал испытуемый А. при почти двукратном росте СПИ. У испытуемого Па. также была восстановлена СГ и повысилось качество операторской деятельности (ошибки 11 и 0, СПИ 1,64 и 2,28). Результаты остальных испытуемых характеризуются, в основном, увеличением СПИ и малым количеством ошибок или их отсутствием как в предварительном, так и в заключительном тестировании (табл.). При этом у них сформировалась или увеличилась амплитуда СГ. Если говорить о средних результатах тестирования, то количество ошибок уменьшилось в 3,17 раза ($p < 0,01$), а СПИ увеличилась в 1,43 раза ($p < 0,01$).

Таблица 1

Испытуемый	Количество ошибок		Амплитуда собственной гармоники (СГ) (с)		Период СГ (с)	Скорость переработки информации (СПИ) (бит/с)		СПИ
	1.07.02	5.07.02	1.07.02	5.07.02		1.07.02	5.07.02	5.07 — СПИ 1.07
А	21*	5	0,002	0,051	7,85	1,43	2,78	1,94
В	10	9	0,008	0,010	11,78	1,01	1,30	1,29
V	11	2	0,041	0,075	8,41	2,08	3,37	1,62
G	7	1	0,008	0,015	6,93	2,13	2,98	1,40
D	1	0	0,021	0,086	9,81	2,60	3,03	1,17
K	7	13	0,002	0,113	13,08	3,56	3,39	0,95
M	5	4	0,016	0,050	9,06	1,31	2,03	1,55
Mo	3	1	0,034	0,076	7,36	2,08	3,23	1,55
O	5	4	0,004	0,055	7,85	2,06	3,18	1,54
Pa	11	0	0,001	0,047	6,93	1,64	2,28	1,39
Pe	56*	3	0,003	0,043	5,12	1,34	1,22	0,91
Pu	3	0	0,006	0,092	9,81	1,78	2,76	1,55
S	8	5	0,010	0,016	5,35	1,78	2,96	1,66
T	4	1	0,003	0,011	8,41	1,53	2,59	1,69
F	0	0	0,055	0,084	11,78	2,04	3,30	1,62
среднее ошибка среднего	5,77 0,64	3,20 0,66	* – расценено как выброс			1,89 0,11	2,69 0,12	1,43 0,05

Тренировка в биотехнической системе способствовала не только восстановлению кардиореспираторной синхронизации и повышению качества операторской деятельности. Этот прогресс касается большинства испытуемых. Испытуемые с исходно выраженным эффектом дыхательной аритмии не имели проблем с первоначальным выполнением теста, а после цикла адаптивного биоуправления у них при сохранении или повышении точности повышалась скорость переработки информации. Наличие в группе испытуемых с отрицательным и отсутствующим результатом не позволяет связывать повышение качества операторской деятельности с повторным применением теста.

Таким образом, с большой долей уверенности можно говорить о том, что одним из важных оперативных прогностических критериев “успешности” испытуемого является

наличие в состоянии расслабленного бодрствования с закрытыми глазами респираторной синусовой аритмии. Колебательный режим биоуправления способен восстановить утраченную респираторную синусовую аритмию и подготовить оператора к более качественному выполнению операторской деятельности. Использование биотехнических систем для комплексной “предстартовой” подготовки специалистов оправдано во всех случаях. Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать пути практической реализации комплекса мер по мобилизации резервов операторов и повышения качества деятельности. К ним относится индивидуальная предстартовая подготовка в биотехнической системе, оперативное формирование или восстановление дыхательной аритмии. Наличие в кардиоритме в состоянии расслабленного бодрствования собственной гармоничной, обусловленной дыхательными движениями, является одним из качественных критериев повышения эффективности операторской деятельности.

УДК 57:681.31+61:681.31

Б.М. Владимирский, А.Г. Сухов

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕМЕДИКАМЕНТОЗНОЙ НЕИНВАЗИВНОЙ КОРРЕКЦИИ БОЛИ

Боль – физиологическая реакция, связанная с повреждающими или представляющими потенциальную опасность для организма воздействиями, играющая, таким образом, предупредительную и защитную функцию. Она представляет собой неприятное ощущение, возникающее в результате сложного взаимодействия между сенсорными и когнитивными механизмами. По оценкам ВОЗ только хронические боли, вызываемые болезнями или травмами, затрагивают почти 20% населения Земли и существенно снижают качество жизни, создавая большие проблемы как для отдельного страдающего человека, так и для общества в целом.

Болевые раздражения могут возникать в коже, глубоких тканях и внутренних органах. Эти раздражения воспринимаются рецепторами боли – ноцицепторами, расположенными по всему телу, за исключением головного мозга. Наибольшее ухудшение качества жизни связано с хроническими болями, ключевая особенность которых – обострение чувствительности (сенситизация) сигнальных систем, приводящая к боли и от воздействия обычно не являющихся болезненными стимулов. Такие сенсорные изменения могут иметь место не только в травмированных областях, но и в окружающих их нормальных тканях. Показано, что сенситизация развивается как в самой отвечающей на боль (ноцицепторной) системе, так и внутри центральной нервной системы (ЦНС).

В настоящее время достаточно подробно изучены структурные и функциональные элементы, присутствующие на различных уровнях ноцицепторной системы: от начала сенсорной цепочки до восприятия боли. Известно также, что высшие центры мозга оказывают тормозные и возбуждающие воздействия на низшие центры этой системы. Именно немедикаментозная и неинвазивная коррекция боли путем специальной организации таких воздействий является одной из важнейших медико-технических задач на предстоящие годы.

Создание эффективных немедикаментозных средств коррекции боли потребовало разработки методических и технических средств, обеспечивающих объективизацию оценок боли. В настоящее время предложены и реализованы новые нейрофизиологические подходы оценки болевых порогов, связанные с ноцицептивным флексорным рефлексом (НФР), подавлением под действием внешних факторов (экстероцептивная супрессия) произвольной мышечной активности (ЭС) и возникновением вызван-