

О. А. Джафарова, О. Г. Донская, А. А. Зубков, М. Б. Штарк

## ИГРОВОЕ БИОУПРАВЛЕНИЕ КАК ТЕХНОЛОГИЯ ПРОФИЛАКТИКИ СТРЕСС-ЗАВИСИМЫХ СОСТОЯНИЙ

*Институт молекулярной биологии и биофизики СО РАН, Новосибирск, Россия*

В работе представлена технология игрового компьютерного биоуправления. Рассматриваются теоретические и практические аспекты использования этого метода для коррекции состояний психоэмоционального напряжения и, следовательно, для профилактики психосоматических заболеваний. Результаты испытаний показывают, что испытуемые делятся на людей устойчивых и подверженных эмоциональному стрессу. Найденны различия между ними как по психологическим признакам, так и по физиологическим параметрам, в том числе и по механизмам регуляции вегетативных функций. Показана безусловная полезность процедуры игрового биоуправления, особенно для подверженных стрессу индивидов. В процессе тренинга им удалось научиться, преодолевая моделируемую эмоционально значимую ситуацию, снижать уровень симпатической активности, вырабатывать стратегию поведения, позволяющую адекватно реагировать на жизненные ситуации.

**Ключевые слова:** компьютерные лечебно-оздоровительные игры, профилактика стресс-индуцированных состояний, сердечный ритм, спектральный анализ, модель поведения.

**Введение.** Социальная среда часто ставит перед современным человеком трудноразрешимые проблемы, порождающие у него эмоциональный стресс. Научно-технический прогресс, который создал новые условия и стиль жизни человека и который в целом несет человеку социальные блага, имеет, к сожалению, многие негативные стороны. Это - стремительное ускорение темпа жизни, информационные перегрузки, урбанизация, адинамия, монотония, необходимость работать в экстремальных условиях, нарастание социальных конфликтов. Все чаще человек находится в состоянии психоэмоционального напряжения, ему катастрофически не хватает времени на отдых, расслабление, общение с природой и т.д.

Эмоциональный стресс представляет широко развернутую реакцию организма. Сложившееся в центральной нервной системе эмоциональное возбуждение устремляется через вегетативную нервную систему и гормонально-гуморальный аппарат на внутренние органы, приводя к нарушению механизмов саморегуляции наиболее ослабленных функциональных систем [1]. Поведение человека также крайне чувствительно к действию стресса [2]. Организм пытается ответить на все внешние воздействия с помощью двух глобальных механизмов адаптации – физиологического и психологического [3], последний обеспечивает реализацию программ поведенческой активности.

В связи с увеличением психоэмоциональных нагрузок постоянно растет число людей, страдающих психосоматическими (гипертония, язвенная болезнь и др.), сердечно-сосудистыми заболеваниями, а также заболеваниями нервной системы. Поэтому актуальной становится разработка новых эффективных средств лечения и, что особенно важно, профилактики заболеваний этой сферы.

Использование биоуправления для повышения адаптивных возможностей человека и коррекции

разнообразных психосоматических нарушений является, по-видимому, наиболее адекватным методом воздействия, т.к. затрагивает как физиологические, так и психологические аспекты этого процесса. С одной стороны, с помощью БОС-терапии человека обучают навыкам саморегуляции физиологических функций с целью восстановления нормальной работы функциональных систем организма; с другой стороны, биоуправление – это обучение целенаправленному поведению, умению выбрать или выработать новую стратегию для достижения позитивной цели.

Метод игрового биоуправления, разработанный в Институте молекулярной биологии и биофизики СО РАН под руководством академика М.Б.Штарка, предназначен для профилактики стресс-зависимых заболеваний. Эта система со всеми атрибутами, присущими современным игровым программам, - фотореалистичной графикой и анимацией, сложными звуковыми эффектами, захватывающими динамичными сюжетами и ведением рейтинговых листов успеха, - предназначена для широкого круга пользователей, в том числе и для домашнего применения. Задача игрового тренинга – обучить человека новым способам реагирования на конфликтные ситуации, расширить его поведенческий арсенал через овладение навыками произвольной регуляции физиологических функций в условиях психоэмоциональной нагрузки.

Целью настоящей работы было показать возможность и эффективность использования игрового варианта метода биоуправления для профилактики стресс-зависимых состояний.

**Метод игрового биоуправления.** Компьютерный игровой тренажер состоит из нескольких сюжетов, выполненных средствами мультимедиа. Сюжет игр управляется частотой сердечных сокращений с помощью специального простого датчика, регистрирующего сигнал и передающего его в компьютер (см. рис. на цветной вкладке).

Главной особенностью компьютерного игрового лечебно-оздоровительного тренинга, основанного на технологии игрового биоуправления, является **соревновательный сюжет** [4, 5]. Для того, чтобы победить в соревновании, играющий должен снизить частоту сердечных сокращений (ЧСС): чем меньше ЧСС, тем быстрее, лучше движется управляемый объект. На экране компьютера моделируется стрессовая ситуация, погружаясь в которую, человек проявляет свой стереотипный способ поведения в условиях стрессовой нагрузки.

Выиграть игру (соревнование) или добиться положительного (созидательного) развития сюжета человек может только научившись управлять собственными механизмами саморегуляции, используя методики мышечной релаксации в сочетании с высокой степенью контроля сознания, постоянным сканированием внутренних ощущений и наблюдением за динамикой показателей на экране монитора.

Преодолевая противоречие между психоэмоциональной нагрузкой и необходимостью сохранять состояние спокойствия, играющий учится формировать резистентность к стрессирующей ситуации игры. Таким образом, создается модель эффективного поведения – система навыков конструктивного разрешения подобных ситуаций, препятствующая развитию стресс-индуцированных состояний и их последствий.

Обучающие алгоритмы построены таким образом, что для победы необходимо улучшить свой собственный результат из предыдущего сеанса (**соревнование с самим собой**), что является залогом совершенствования навыков саморегуляции.

Среди всех преимуществ игрового варианта биоуправления следует отметить **наличие стартовой и финишной компоненты**, т.е. весь учебный и лечебно-реабилитационный процесс лишается временной неопределенности, появляется зримая перспектива благополучного завершения.

Игра, как наиболее яркий сценарий эмоционального подкрепления механизмов саморегуляции, позволяет наиболее полноценно осуществить самую значимую задачу технологии биоуправления - превратить пациента из пассивного объекта врачебных вмешательств в заинтересованного, **активного субъекта лечебно-реабилитационного процесса**.

Возможность анализировать результаты лечебных сессий, оценивать динамику курса тренинга помогает определять индивидуальные особенности пациента, выбирать наиболее подходящую лечебную или психотерапевтическую тактику.

В игровом тренажере большая часть экрана монитора отдана виртуальной среде и сюжету игры, выполненному с использованием средств мультимедиа, что предотвращает привыкание в ходе лечебно-реабилитационного процесса. Специально созданная релаксационная музыка и тщательно подобранные звуковые эффекты помогают погрузиться в игровую обстановку.

Тренажер, созданный в Институте молекулярной биологии и биофизики СО РАМН, включает в себя на сегодняшний день 4 игровые программы и, пожалуй, более всего из существующих аналогичных систем в мире предназначен для домашнего, семейного тренинга в силу простоты освоения, дешевизны аппаратной части и очевидной оздоровительной направленности (см. рис. на цветной вкладке).

**Игры “ВИРА!”, “Гребной канал”.** На экране - имитация соревнований по подводному погружению и поиску сокровищ или гребле на байдарках, организованных по олимпийской системе. Пациент управляет одним из соревнующихся. Его задача - обогнать соперника, скорость которого - это скорость игрока, достигнутая в предыдущей попытке. Чтобы обогнать соперника и победить в игре, пациенту нужно научиться замедлять сердечный ритм.

Для управления используется прибор “Детектор пульса”. Игровая приставка “Детектор пульса” регистрирует частоту сердечных сокращений методом дигитального (с пальца) снятия сигнала фотоплетизмограммы, прибор имеет малые размеры и может быть удобно размещен в ладони. Устройство связано с компьютером через последовательный порт и имеет опто-волоконную развязку на 4000В (класс защиты I–V), что позволяет использовать его не только как бытовой электронный прибор, но и в медицинских кабинетах.

Чем глубже человек, сидящий перед компьютером, сумеет расслабиться, тем медленнее будет его пульс, и тем быстрее будет двигаться его игрок на экране. Таким образом, он получает возможность регулировать свои физиологические параметры, немедленно узнавая о результатах своих попыток.

**Игра “Магические кубики”** управляется ЧСС, как в предыдущих случаях. Она рассчитана на детей младшего возраста и пациентов, для которых острые конкурентные отношения, реализованные в ранее описанных играх, оказываются неприемлемыми по каким-либо причинам. Волшебник (пациент) управляет строительством башни из кубиков, устойчивость которой и, следовательно, высота зависят от способности поддерживать сердечный ритм на уровне не ниже базового. Трехмерная графика, таинственная музыка, завораживающий огонь, горящий в камине, а главное, желание построить башню до небес позволяют малолетним пациентам работать у монитора компьютера в течение 20 минут лечебной сессии без особого труда.

**Игра “Ралли”** - это одна из последних разработок НИИ МББ. Основные идеи и принципы, заложенные в эту игру, те же, что и в описанных выше играх «ВИРА!» и «Гребной канал», но введение новых элементов расширяет область применения этого программного продукта. Сюжетом игры являются шоссейные гонки. Введенный в игровой сюжет новый элемент – камни на дороге, которые необходимо объезжать при помощи своевременного нажатия клавиши «пробел», - позволяет фиксировать время реакции тренирующегося и следить за

изменением уровня концентрации внимания в процессе тренинга.

Игра имитирует вождение автомобиля. Во время тренинга оцениваются релаксационные навыки и время реакции для выявления лиц, подверженных синдрому сонливости. Предполагается, что эффективное вождение сочетает готовность реагировать на внешние стимулы, устойчивость распределенного внимания и отсутствие избыточной нагрузки на нервную систему. Этот баланс достигается в ходе тренинга путем усиления произвольного контроля над характеристиками вегетативной нервной системы.

В настоящее время проблема избыточной сонливости и снижения концентрации внимания встает очень широко. По некоторым данным, до половины дорожных происшествий и аварий происходит по указанным причинам. Анализируя результаты игры, можно отслеживать испытуемых с предрасположенностью к засыпанию. Игрок с повышенной сонливостью будет отличаться по финальному времени реакции по сравнению с его нормальной величиной.

Разработанная система "Ралли" дает простой, доступный и дешевый метод выявления склонности к сонливости в дневное время на базе анализа ряда психофизиологических параметров, измеряемых в специально созданной виртуальной ситуации. Тренинг предоставляет возможность снизить риск засыпания водителей на дороге (в процессе тренировок человек учится сохранять уровень концентрации внимания во время вождения автомобиля), а также является инструментом для оценки эффективности других лечебных мероприятий по устранению синдрома сонливости. Кроме того, игра "Ралли", наряду с другими играми, обучает навыкам релаксации и может быть использована для профилактики возникновения психосоматических заболеваний.

**Материалы и методы.** В исследовании участвовало 26 здоровых испытуемых от 24 до 48 лет. Все они не имели опыта саморегуляции.

Испытуемые проходили курс тренинга методами игрового биоуправления с использованием лечебно-оздоровительных игр «ВИРА!» и «Гребной Канал». Курс состоял из 10-12 сессий с перерывами между занятиями не более 2-х дней и занимал 2-2,5 недели. Продолжительность каждой сессии - 20-30 минут. Сессия состояла из 8-10 попыток. Сюжет игры управлялся сердечным ритмом игрока, которому предлагалось его замедлить для того, чтобы добиться успеха. Во время сеансов регистрировались последовательности RR-интервалов.

Для оценки variability сердечного ритма использовался спектральный анализ (СА) ритмограммы (РГ), который является наиболее информативным неинвазивным методом количественной оценки вегетативной регуляции сердечного ритма [6]. Спектральная плотность подразделялась на 3 основных частотных интервала: диапазон низких частот (LF - 0.01-0.08Hz), средних (MF - 0.08-0.15Hz) и высоких (HF - 0.15-0.4Hz) в соответствии со стандартами [6].

Определялась общая интегральная мощность спектра и мощность спектра внутри каждого интервала частот. Таким образом определялся вклад дыхательной аритмии (HF) и медленноволновых колебаний в диапазоне средних (MF) и низких (LF) частот в структуру variability сердечного ритма.

Для выявления индивидуальных различий пациентов в процессе овладения ими методом игрового тренинга был подобран пакет тестов, отражающих общие свойства нервной системы, а также психологические и психофизиологические особенности тестируемых. В пакет вошли: восьмицветный тест Люшера; тест Спилбергера-Ханина (STAI); СМОЛ (русскоязычный вариант теста Mini-Mult); Уровень Субъективного Контроля (УСК); Самочувствие, Активность, Настроение (САН); JAS – тест Дженкинса; тест Айзенка. Тестирование проводилось до курса тренинга, тест Люшера проводился в начале, середине и конце курса до и после сеанса.

**Некоторые замечания о вычислительных аспектах спектрального анализа сердечного ритма.** Спектральный анализ получил широкое распространение в исследовании variability ритма сердца [6-11]. В различных работах авторы использовали как самостоятельно разработанные процедуры СА, так и средства, предоставляемые математическими пакетами (Statistica и др.). Наиболее полный обзор методов СА и их реализации можно найти в пакете матричных вычислений MATLAB фирмы MathWorks ([www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)), изложение теории СА приведено в [12-16].

Биоуправление является инструментальным методом, связанным с измерением сигналов. Поэтому в нашем исследовании был использован вариант СА в форме, используемой в области цифровой обработки данных. Выбор конкретного алгоритма СА сделан под влиянием подходов, принятых в программных продуктах фирмы National Instruments (LabView, CVI и др., сервер фирмы [www.ni.com](http://www.ni.com)), он привлекает простотой интерпретации результатов анализа [17]. Исторически этот вариант СА был разработан для описания электрических процессов, где спектр рассматривался как распределение электрической мощности, приходящейся на разные частотные составляющие сигнала [14]. Позднее понятие мощности было обобщено на любые типы процессов. Мощность, по определению, есть энергия, выделяемая системой за единицу времени. В дискретном представлении мощность процесса, заданного последовательностью временных отсчетов  $x_i$  ( $i = 1 \dots N$ ), определяется выражением

$$P \equiv \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2.$$

Как видно из выражения, единицей измерения мощности является квадрат единиц измерения величины, описывающей процесс (в случае длительности кардиоинтервала, измеренного в миллисекундах, –  $мс^2$ ). Отметим, что определение мощности для последовательности  $x_i$  совпадает с квадратом среднего квадратичного значения (СКЗ) для этой последовательности. Заметим, что СКЗ

синусоидального сигнала  $x = A \sin(\omega t + \varphi)$  равно  $A/\sqrt{2}$ .

Наиболее простой способ вычисления спектра мощности основывается на использовании преобразования Фурье. Если имеется последовательность  $x_i$  ( $i = 0 \dots N-1$ ,  $N > 1$ ), измеренная с интервалом времени  $\Delta t$ , то массив спектральных компонент  $y_j$  ( $j = 0 \dots M-1$ , где  $M = N/2$ , если  $N$  – четное, и  $M = (N-1)/2$ , если  $N$  – нечетное) вычисляется по формуле:

$$y_j = \frac{k}{N^2} \left( \left( \sum_{i=1}^N x_i \cos\left(\frac{2\pi j i}{N}\right) \right)^2 + \left( \sum_{i=1}^N x_i \sin\left(\frac{2\pi j i}{N}\right) \right)^2 \right)$$

Приведенная формула рассчитана на вычисление одностороннего спектра мощности действительного сигнала. Коэффициент  $k$  равен единице ( $k=1$ ) для  $j = 0$  и равен двум ( $k=2$ ) для остальных значений  $j$ . Для  $N = 2^p$  ( $p > 1$ ) обычно используют оптимизацию БПФ (FFT). Можно показать, что если  $A_0$  и  $A_j$  ( $j = 1, \dots, M-1$ ), соответственно, амплитуды постоянной и синусоидальных составляющих исходной последовательности, то значения  $y_j$  равны  $A_0^2$  для постоянной составляющей и квадратам СКЗ ( $A_j/\sqrt{2}$ )<sup>2</sup> для синусоидальных составляющих.

Для анализа ритмограммы практический интерес представляет также амплитудный спектр. Массив амплитудных значений можно получить с помощью соотношения  $A_j = \sqrt{k y_j}$  для пиковых значений или  $A_j = \sqrt{y_j}$  в виде СКЗ. Единицы измерения амплитудного спектра совпадают с единицами измерения исходных данных. Амплитудные значения для некоторых частот, например, частоты дыхательной волны, могут непосредственно использоваться в тренировочных приложениях как цель или как показатель результативности управления. Пример использования амплитудного спектра при проведении накоперемного кардиотренинга можно найти в [9].

Значения шкалы частот  $f_j$ , соответствующие  $y_j$ , вычисляются с помощью соотношения  $f_j = j/\Delta t N$ , значение  $j = 0$  соответствует постоянной составляющей, значение  $\Delta f = 1/\Delta t N$  соответствует первой гармонике в разложении и задает шаг шкалы. Общее число частот в шкале приближенно в два раза меньше числа точек в исходной последовательности.

Параметр  $\Delta f$ , называемый спектральным разрешением, играет важную роль в СА. Две близкие частотные составляющие  $f_n$  и  $f_m$  исходной последовательности могут быть раздельно обнаружены в спектре лишь при выполнении условия  $f_n - f_m \geq \Delta f$ . Для вычисления спектрального разрешения в случае с РГ имеет значение выбор величины времени выборки  $\Delta t$ . Так как РГ является интервальным процессом, то не существует заранее определенного времени выборки, как для данных, полученных путем аналого-цифрового преобразования. В большинстве статистических пакетов (Statistica, Statgraphics, SPSS Trend и др.) при вычислении спектра эта величина вообще не

задается, и шкала частот вычисляется в предположении, что время выборки равно одной условной единице времени наблюдения, которая может соответствовать годам, месяцам, дням и т.д. В этом случае единица измерения шкалы частот безразмерна, и ее максимальное значение равно  $f_M = M/N = 0.5$ . Для времени наблюдения, равного 1 секунде, единица измерения шкалы частот будет соответствовать 1 Герцу. Благодаря случайному совпадению близости длительности кардиоинтервалов к 1 секунде, получаемая в этих пакетах частотная шкала спектра РГ близка к истинной и, как правило, несколько смещена в сторону низких частот. Если интерес представляет не только качественное поведение спектра, но и точное положение пиков или суммарная мощность в частотных полосах, то необходима коррекция шкалы в соответствии с действительным значением времени выборки. В отличие от статистических, в пакетах, ориентированных на цифровую обработку данных (LabView, DSP Toolbox в Matlab и др.), вычисление спектра требует явного задания времени выборки или частоты выборки  $f = 1/\Delta t$ . Единственным кандидатом на время выборки для интервальных процессов, обеспечивающим равномерность выборки с сохранением ее длительности и числа точек в ней, является среднее значение выборки. При этом интервальный процесс, соответствующий РГ, заменяется эквивалентной равномерной выборкой с шагом, равным среднему значению РГ.

Возникает вопрос: как влияет подобная замена на спектр мощности РГ? Учитывая, что для исходной неравномерной последовательности спектр не определен, оценка влияния является достаточно сложной задачей. Прямое сравнение спектров стало возможным с появлением метода нормализованных периодограмм Ломба, разработанного специально для вычисления спектров неравномерных выборок [18, 19]. В отличие от классических спектров, рассчитываемых на равномерной сетке времени, вычисление значений базисных тригонометрических функций для спектра Ломба производится лишь для моментов времени, в которых были измерены данные. Для равномерных выборок метод Ломба дает результаты, идентичные с точностью до нормировки результатам классического СА. Сравнительный анализ спектров показал, что для РГ с достаточно большим уровнем вариабельности ( $\sigma \geq 0.04$  с) замена интервального процесса равномерным не приводит к существенным амплитудным искажениям спектра в наиболее информативном для РГ частотном диапазоне до 0.4 Гц. В некоторых случаях в области высоких частот ( $f > 0.3$  Гц) наблюдалось возрастание амплитуды шума в сравнении с исходным спектром.

Во многих работах для регуляризации РГ используется линейная интерполяция с шагом 0.4 сек [8], требующая для поддержки дополнительные вычислительные ресурсы. Сравнение методов, однако, не выявило преимуществ интерполяции в точности вычисления спектра по отношению к использованию среднего значения РГ.

Для перехода от спектра мощности к спектральной плотности мощности (СПМ), широко используемой в работах по СА, необходимо найти отношение спектральных значений  $y_j$  к величине спектрального разрешения  $\Delta f$ . Единицами измерения СПМ для РГ являются  $\text{мс}^2/\text{Гц}$ . Однако на практике более удобно пользоваться мощностью, так как сравнение характеристик отдельных линий и частотных полос спектров РГ, полученных в разных условиях, требует указания значений мощности, приходящихся на них.

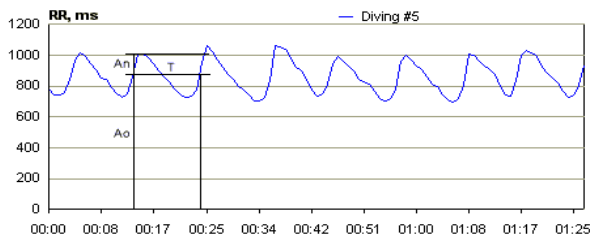


Рис. 1. Пример ритмограммы.  
Fig. 1. RR-data sample graph.

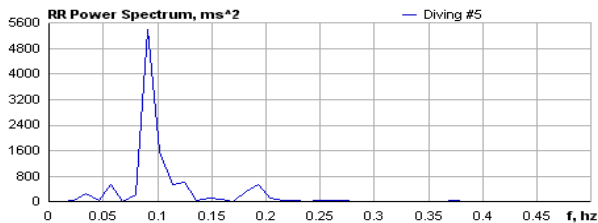


Рис. 2. Пример спектра мощности ритмограммы (после удаления постоянной составляющей)  
Fig. 2. RR Power spectrum example (after mean subtraction).

Описанная процедура получения спектра в некоторых случаях позволяет быстро получать оценки мощности спектральных составляющих РГ по виду ее графика. Например, приведенная на рис. 1 запись, сделанная во время релаксационного тренинга, содержит постоянную составляющую с амплитудой  $A_0 \approx 900$  мс (точное значение равно среднему значению РГ) и периодическую составляющую, связанную с дыхательной аритмией, с амплитудой  $A_n \approx 100$  мс и периодом  $T \approx 11$  сек. Поэтому оценочное значение мощности постоянной составляющей равно  $900^2 = 810000 \text{ мс}^2$ , а периодической составляющей  $(100 / \sqrt{2})^2 = 5000 \text{ мс}^2$  на частоте, приблизительно равной  $1/11 \approx 0.09$  Гц. Приведенный на рис. 2 спектр РГ (без постоянной составляющей) подтверждает совпадение сделанных оценок с характеристиками максимума пика, связанного с дыхательной аритмией.

**Результаты и обсуждение.** У каждого испытуемого анализировали одну начальную и одну конечную сессию курса. Все участники продемонстрировали способность произвольного замедления сердечного ритма в конечных сеансах тренинга [7]. По успешности выполнения задач тренинга в начале курса испытуемые были разделены на 2 группы. В первую группу ( $n=14$ ) вошли те из них, которые показали положительный прирост длительности кардиоинтервалов в первой сессии. Вторую группу ( $n=12$ ) составили лица, у которых прирост был отрицательным или его не было вообще.

Испытуемые первой группы достаточно легко научились достигать нужного результата (рис.3).

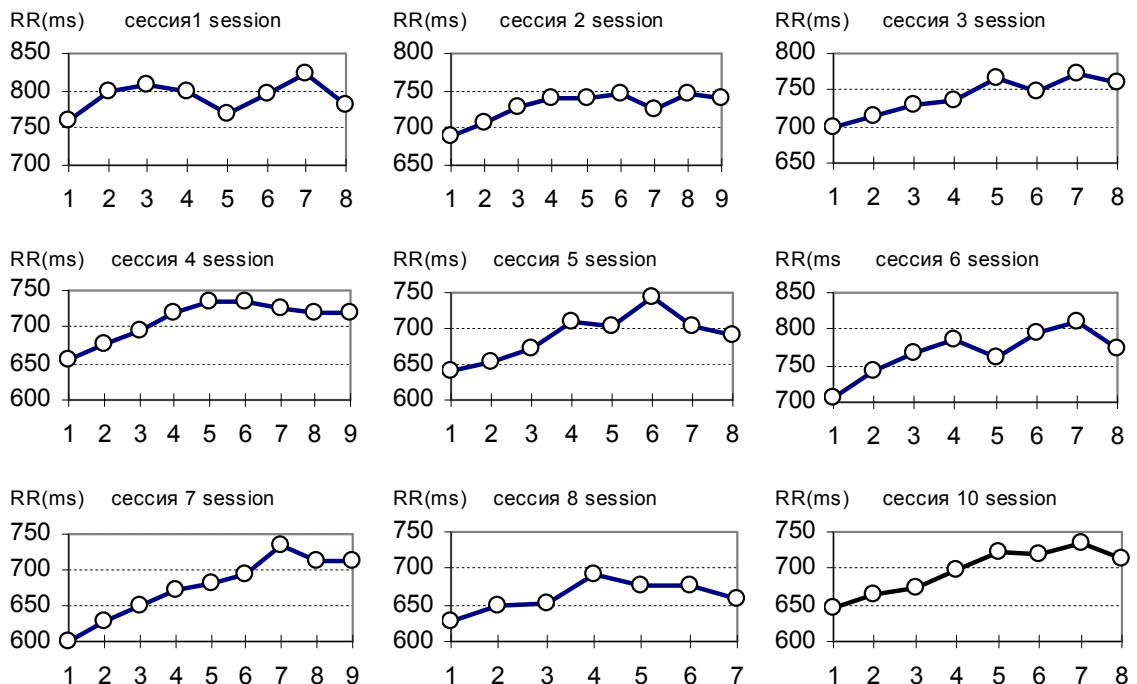


Рис.3. Изменения средней длительности RR-интервала в сеансах тренинга на протяжении курса. Испытуемый из группы 1. Характерна положительная динамика вначале курса.

Fig. 3. Changes of mean RR-interval duration at the training sessions. Subject from Group 1: positive progress at the beginning of the course is shown.

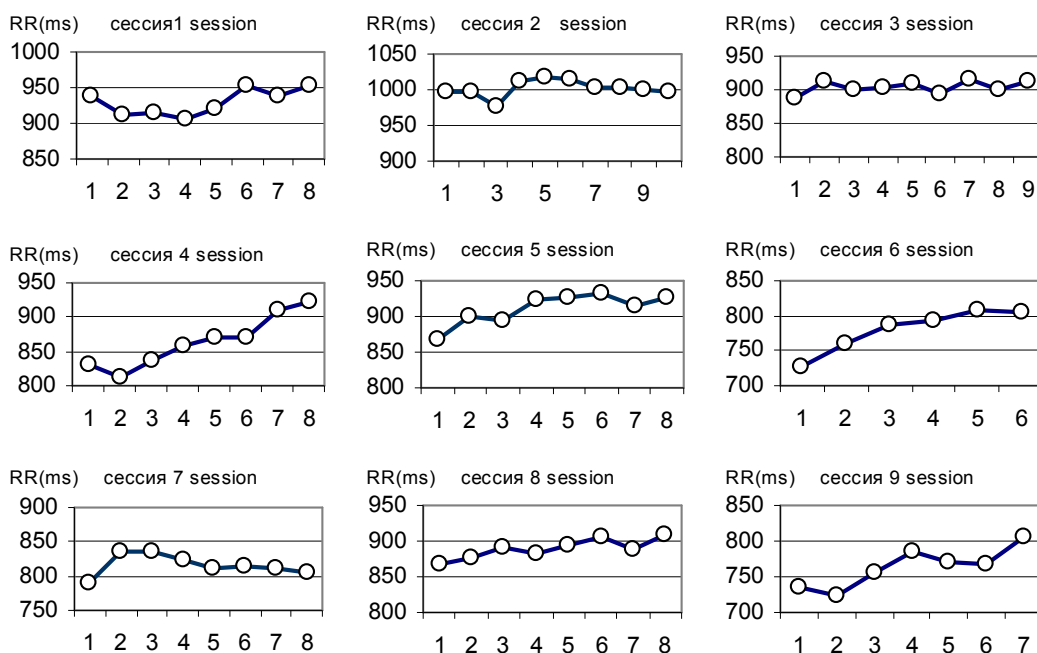


Рис. 4. Изменения средней длительности RR-интервала в сеансах тренинга на протяжении курса. Испытуемый принадлежит группе 2. В начале курса отсутствует прирост длительность кардиоинтервалов.

Fig. 4. Changes of mean RR-interval duration at the training sessions. Subject from Group 1: there is no increase of cardiointervals duration at the beginning of the course.

Анализ данных говорит о том, что они умели делать это неосознанно, а в процессе тренировок научились контролировать процесс, осознали стратегию своего поведения. Испытуемые второй группы научились управлять своим сердечным ритмом только к концу курса и встретили при обучении серьезные затруднения (рис.4).

Во всех дальнейших расчетах при сравнении групп использовались только 6 первых попыток в сеансе тренинга, т.к. это было минимальным числом попыток для всех испытуемых. Рис. 5 иллюстрирует различие между группами по изменению длительности кардиоинтервалов в курсе биоуправления.

увеличиваются (при сравнении 1-3 и 4-6 попыток с использованием парного t-критерия,  $p < 0.005$ ). Во второй группе прирост RR- интервала в конце курса достоверен ( $p < 0.0005$ ). Группы не отличались по средним значениям RR-интервалов ни в начале, ни в конце курса. Различие по приросту ( $\Delta$ ) в исследуемых группах присутствовало в начальной сессии курса и исчезало в конце (см. табл.1).

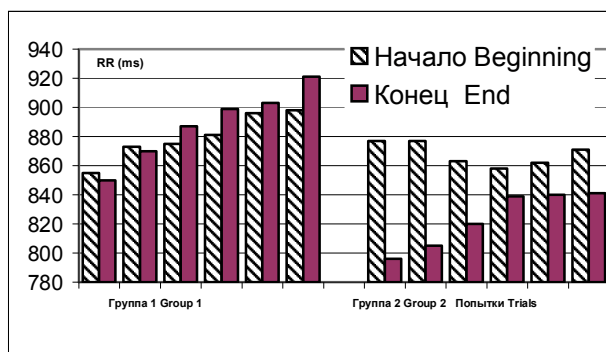


Рис. 5. Изменение длительности кардиоинтервалов во время игрового тренинга по ЧСС для исследуемых групп.

Fig. 5. Changes of RR-interval duration during the training course in the groups investigated.

В группе 1 в начале и в конце курса средние значения длительности RR-интервалов достоверно

Табл. 1  
Сравнительный анализ средней длительности кардиоинтервалов и их прироста в исследуемых группах в курсе биоуправления

Tab. 1  
Comparing of mean cardiointervals duration and increase in the groups during the course of biofeedback

Показатели Indices	Курс Course	Группа 1 Group 1		Группа 2 Group 2		t	p
		Среднее Mean	СКО Std	Среднее Mean	СКО Std		
RR	Начало Beginning	879	153	868	83	0.194	0.849
	Конец End	888	132	824	75	1.233	0.238
$\Delta$ RR	Начало Beginning	24	13	-8	17	<b>4.005</b>	<b>0.001</b>
	Конец End	40	20	33	17	0.726	0.48

**Вегетативная регуляция ритма сердца.**  
Оперантный контроль сердечного ритма с помощью биоуправления изучается не одно десятилетие, но до сих пор о механизмах нервной регуляции сердечной деятельности во время БОС-тренинга известно



относительно немного. Неоднократно показано, что изменение вагусного тонуса тесно связано с изменением частоты сердечных сокращений во время произвольного замедления или ускорения сердечного ритма. Ускорение связано со снижением вагусного тонуса, а замедление, наоборот, с его увеличением [10, 11, 20-23]. Компонент изменений ЧСС, связанный с респираторным циклом, выделяемый при помощи спектрального анализа, может служить количественным показателем влияния блуждающего нерва на сердце [10, 11, 20]. P.J.Hatch с соавторами [24] показали с помощью неинвазивных методов, что в процессе регуляции сердечной деятельности во время произвольного контроля ЧСС принимает участие как парасимпатический, так и симпатический отдел вегетативной нервной системы. Волевое уменьшение ЧСС сопровождается одновременным усилением парасимпатических и ослаблением симпатических влияний на сердце.

Стандартами Европейского общества кардиологии и Североамериканского общества кардиостимуляции и электрофизиологии определены следующие показатели, вычисляемые методом спектрального анализа:

HF – мощность спектра в высокочастотном диапазоне (0.15-0.5 Гц) – отражает вагусный контроль сердечного ритма;

MF – мощность спектра в диапазоне средних частот (0.08– 0.15 Гц) – активность в этом диапазоне связана с краткосрочной регуляцией артериального давления;

LF – мощность спектра в низкочастотном диапазоне (0.01-0.08 Гц) – имеет смешанное происхождение и связан как с вагусным, так и с симпатическим контролем ритма сердца;

TF – общая мощность спектра (0.01-0.5 Гц) – показатель суммарной активности вегетативных воздействий на сердечный ритм;

LF/HF – отношение, значение которого отражает баланс симпатических и парасимпатических влияний [6].

Анализ мощности спектральной плотности в диапазоне высоких частот (HF) не выявил изменений этого показателя в группе 2 в процессе тренинга. В группе 1 в начале курса наблюдалась тенденция к снижению HF ( $p=0.06$ ) за тренировочную сессию, а в конце курса значения HF значительно увеличивались ( $p=0.015$ ) в течение сессии.

Не отмечено влияние тренинга на изменения в низкочастотном диапазоне частот в начале курса занятий для обеих групп. Динамика LF имеет разную направленность в группах в конце курса обучения: в группе 1 LF возрастает ( $p=0.05$ ), в группе 2 наблюдается значительное снижение ( $p=0.034$ ) этого показателя в тренировочной сессии.

Анализ индекса парасимпатической активности LF/HF проводился на логарифмической шкале, чтобы сгладить его резкие колебания, т.е. вычисляли  $\ln LF - \ln HF$ . Группы 1 и 2 уже в начале курса различались по индексу, причем в группе 2 индекс был существенно выше, а к концу курса среднее значение LF/HF за сеанс в группе 2 приблизилось к

соответствующему значению в группе 1, хотя их динамика в сеансе оставалась прямо противоположной. По динамике этого показателя выявлено существенное его снижение в конечной сессии курса в группе 2 ( $p=0.007$ ) (см. рис. 6).

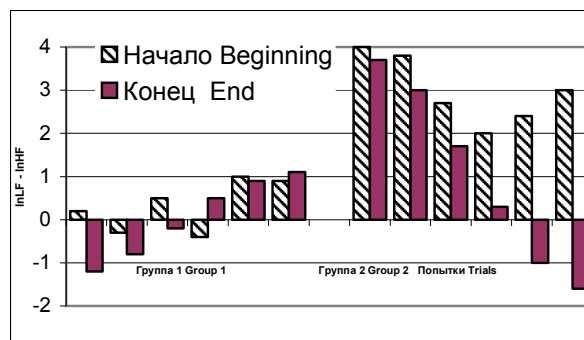


Рис. 6. Динамика индекса парасимпатической активности в начальной и конечной сессиях курса.

Fig. 6. Progress of parasympathetic index at the first and final sessions.

Сравнение динамики длительности кардиоинтервалов и высокочастотной активности показывает, что увеличение длительности кардиоинтервалов не всегда сопровождается увеличением HF. Это может объясняться либо сдвигом пика дыхательных волн в сторону низкочастотного диапазона вследствие уменьшения частоты дыхания в процессе расслабления, либо увеличением парасимпатических влияний за счет ослабления симпатических.

При практически одинаковом изменении длительности RR в конечной сессии курса (значимое увеличение в обеих группах) изменения волновых показателей в группах носили разный характер.

В группе 1 в конце курса рост длительности кардиоинтервалов в сеансе происходил на фоне повышения как HF, так и LF, при этом отношение LF/HF не менялось (рис. 7). Таким образом, можно заключить, что перераспределение баланса вегетативной активности происходило главным образом за счет повышения активности парасимпатической системы.

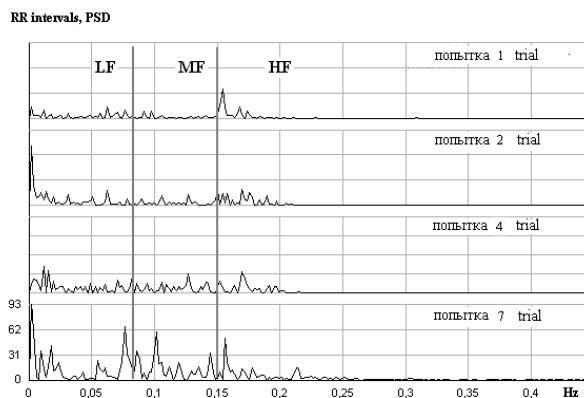


Рис. 7. Изменение спектральной плотности в курсе биопрограммирования у испытуемого первой группы

Fig. 7. Progress of PSD of RR interval (subject from group 1).

В конце курса у группы 2 достоверное увеличение RR-интервала сопровождалось значительным снижением LF, уменьшением отношения LF/HF, при умеренном росте величины HF (рис. 8). Перераспределение баланса вегетативной активности в сторону парасимпатической системы происходило за счет снижения симпатического тонуса.

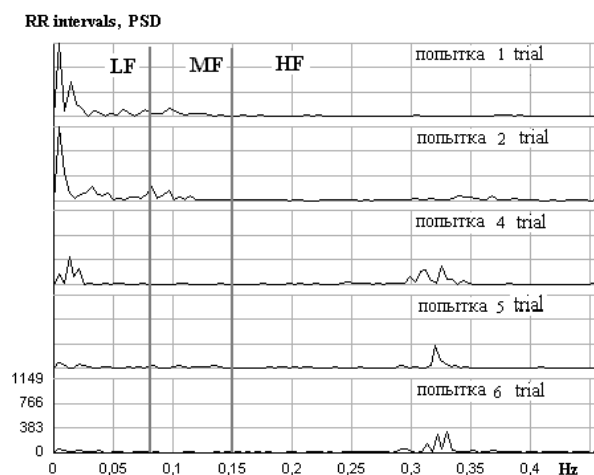


Рис. 8. Изменение спектральной плотности в курсе биоуправления у испытуемого второй группы  
Fig. 8. Progress of PSD of RR interval (subject from group 2).

Таким образом, сдвиг вегетативного баланса в сторону парасимпатической активности осуществлялся разными способами у испытуемых, имеющих изначально различавшиеся способности к саморегуляции. Одни, владеющие умением замедлять сердечный ритм, достигали результата путем повышения парасимпатического тонуса, другие же, которые изначально не могли произвольно снижать ЧСС, научились в курсе тренинга добиваться этого, снижая симпатическую активность.

#### Результаты психологического тестирования.

По результатам тестирования не было выявлено различий между группами по тесту тревожности (STAI), тесту САН, тесту Айзенка. Отдельные случаи высоких значений ситуативной и личностной тревоги (STAI) и нейротизма (тест Айзенка) не являлись препятствием для достижения хороших результатов тренинга.

По результатам ответов теста СМОЛ были построены профили личности по девяти шкалам, усредненные по группам. Для группы 1 выявлено достоверное превышение показателей по шкале 1 - ипохондрия, шкале 3 - истерия, шкале 7 - психастения и шкале 8 - шизофрения, хотя все значения находятся в пределах нормы.

Были выявлены достоверные различия по типу контроля над ситуацией между испытуемыми 1 и 2 группы по всем шкалам теста «Уровень субъективного контроля», этот тест – обобщенная характеристика личности, показывающая регулирующее воздействие на способы разрешения кризисных (стрессорных) ситуаций. Получена

достоверно более низкая оценка интернальности в группе 1 (рис. 9).

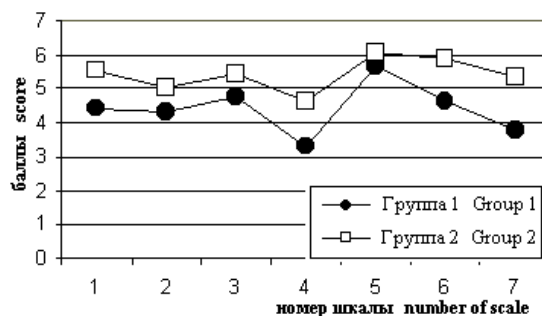


Рис. 9. Оценки интернальности в тесте VCK.  
Fig. 9. Locus Control Scale results in the groups.

Наиболее значимые различия групп были выявлены тестом JAS (см. рис. 10). Группы различались по поведенческим чертам личности, группа 1 относилась к типу В, а группа 2 к типу А. Напомним, что под типом поведения А подразумеваются поведенческие черты личности, характеризующиеся длительной борьбой за достижение целей при значительном сопротивлении со стороны внешнего мира. Таким людям свойственно постоянное ощущение нехватки времени, чувство нетерпеливости, стремление к доминированию в коллективе, деятельность «на износ» при максимальном напряжении своих духовных и физических сил. Наибольший режим благоприятствования для людей типа А в современном обществе дается им ценой хронического психоэмоционального напряжения. Повышенная стрессовая готовность к воздействиям извне, низкий порог чувствительности к социальным и психологическим стимулам и, как следствие, гиперреагирование гормональной и сердечно-сосудистой систем ставят лиц типа А в крайне невыгодное положение по сравнению с другими людьми, увеличивают риск развития нервного перенапряжения.

Испытуемые первой группы (тип В) в своей приспособительной реакции зачастую уходят от решения возникающих проблем. Их менее выраженная жизненная активность служит для них как бы защитной реакцией от чрезмерного психоэмоционального напряжения.

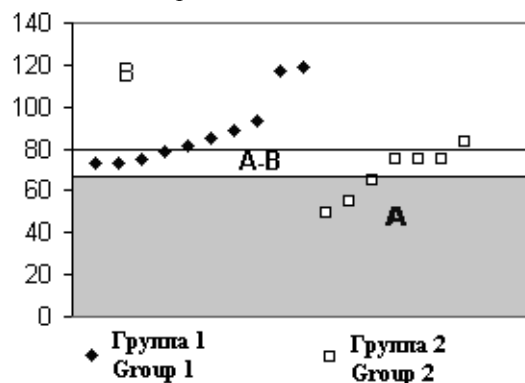


Рис. 10. Принадлежность к типу поведения по тесту JAS.  
Fig. 10. JAS test results in the groups.



По результатам теста Люшера были получены различия между исследуемыми группами, описанные ниже.

Значения коэффициента Вольнефера, отражающего психическую напряженность, во второй группе были достоверно выше в течение всего курса. В группе 2 наблюдалось снижение напряженности после сеанса тренинга. Для группы 1 были характерны низкие значения коэффициента, свидетельствующие о некоторой степени апатии (рис. 11).

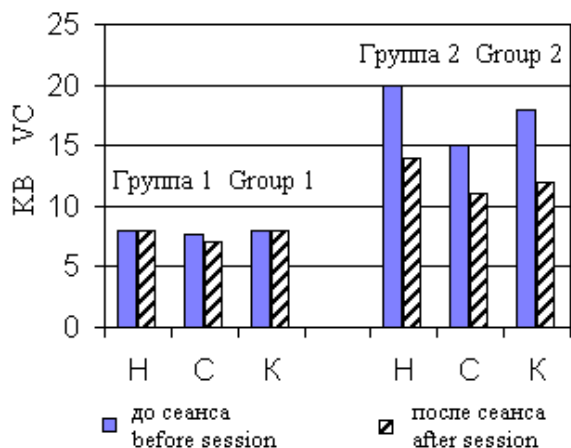


Рис. 11. Изменение значений коэффициента Вольнефера (KV) в курсе игрового тренинга (Н – начало, С – середина, К – конец курса тренинга).

Fig. 11. Progress of Volneffer coefficient (VC) values in the course of training. (H – beginning of course, C – one of the middle sessions, K – final stage of training)

Ранговый ряд теста Люшера пациентов второй группы отражал наличие внутриличностного конфликта, состоящего в параллельном существовании разнонаправленных, взаимоисключающих тенденций: стремление к превосходству над другими и одновременно жажда быть всеми любимым, принятым, понимаемым. Лица, составившие группу 1, отличались сбалансированностью личностных характеристик, отсутствием выраженных интрапсихических диспозиций, выраженной стрессоустойчивостью, развитым личностным дефенсом.

Отличительными чертами характера испытуемых второй группы были стремление к лидерству, перфекционизм, тенденция постоянно конкурировать, сравнивая свои успехи и достижения с успехами и достижениями окружающих. Причиной психологического дискомфорта этих лиц чаще всего являлось их мнимое или истинное несоответствие тем высоким стандартам, которые были созданы самими пациентами, страх оказаться «не первым».

Ведущим фактором, определяющим особенности обучения методу саморегуляции в условиях моделируемой стрессовой нагрузки, являлась индивидуальная модель поведения. Поведение типа В оказалось в этом случае более эффективным. Лица с поведением типа А встретили серьезные трудности в процессе обучения.

Результаты экспериментов показывают наличие индивидуальных различий в устойчивости к стрессовым нагрузкам, что согласуется с мнением К.В.Судакова [1], который неоднократно подчеркивал важность изучения индивидуальной чувствительности к эмоциональному стрессу.

Мы идентифицируем эту чувствительность по специфическим личностным качествам, по типу поведения. Люди, подверженные воздействию эмоционального стресса, имеют более высокий уровень интернальности и являются носителями поведения типа А [25]. По-видимому, наличие жесткой связи между эмоциональной оценкой ситуации и поведением снижает у них успешность взаимодействия с окружающей средой, затрудняет осуществление адаптивной поведенческой реакции. Низкая сопротивляемость стрессу у этих людей имеет и физиологическую основу. По данным Kamada T. [26], у лиц типа А индекс LF/HF значимо выше в связи с преобладанием у них симпатической активности. А это, по данным К.В.Судакова [1], также является предиктором неустойчивости к психоэмоциональным нагрузкам.

**Заключение.** Все испытуемые, в том числе и подверженные стрессовым воздействиям, демонстрировали увеличение парасимпатических влияний от первого сеанса к последнему, сопровождавшееся снижением симпатической активации, что проявлялось при погружении в стресс-индуцирующую игровую среду. В процессе освоения метода игрового биоуправления простые, много раз повторяющиеся виртуальные события формируют у игрока новые стереотипные образы, новая информация с каждым очередным геймом «вытесняет» старые устойчивые модели поведения, лежащие в основе развития психосоматических расстройств; происходит быстрое и необременительное формирование сенсомоторных стереотипов, обеспечивающих рациональное поведение в условиях стрессового воздействия.

Настоящее исследование позволяет рекомендовать технологию игрового биоуправления как метод профилактики стресс-зависимых состояний. Практическое использование этой технологии формирует у человека стратегию адекватного поведения в ответ на провоцирующие факторы социальной среды, что позволяет не только повысить психоэмоциональную устойчивость к стрессовым нагрузкам, но и выработать систему навыков саморегуляции, обеспечивающих быстрое восстановление симпато-вагусного баланса.

#### Литература.

1. Судаков К.В. Индивидуальная устойчивость к эмоциональному стрессу. НИИ нормальной физиологии имени П.К.Анохина. Москва. 1998.
2. Араkelов Г.Г. Стресс и его механизмы// Вестник МГУ. 1995. 14 (Психология). 4. – С. 45-54.
3. Медведев В.И. Взаимодействие психологических и физиологических механизмов в процессе адаптации// Физиология человека. 1998. 4. – С. 7-13.

4. Донская О.Г., Великохатный Р.И., Дебелов В.А., Джафарова О.А., Иутин В.С., Мазурок Б.С., Ткачев Ю.С., Черепанов А.И., Штарк М.Б., Шульман Е.И. Компьютерные и лечебно-оздоровительные игры (новая ветвь биоуправления)// *Биоуправление-3. Теория и практика*. Новосибирск. 1998. - С. 232-242.
5. Дебелов В.А., Донская О.Г., Иутин В.С., Малахин А.С., Тарасов Е.А., Ткачев Ю.С., Штарк М.Б., Шульман Е.И. Биологическая обратная связь на основе компьютерной игры// *Автометрия*. 1996. 6. - С.37-44.
6. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology// *Circulation*. 1996. 93. – P. 1043-1065.
7. Джафарова О. А., Донская О.Г., Изарова И. О., Путилов А. А. Метод игрового биоуправления и регуляция ритма сердца// *Бюллетень сибирского отделения РАМН*. 1999. 1. – С. 62 – 67.
8. Флейшман А. Н. Медленные колебания гемодинамики. Теория, практическое применение в клинической медицине и профилактике. Новосибирск. Наука. 1999. - С. 264.
9. Суворов Н. Б., Меницкий Д. Н., Фролова Н. Л. Знакопеременный кардиотренинг: практика применения// *Биоуправление-3. Теория и практика*. Новосибирск. 1998. – С. 69-79.
10. Akselrod S., Gordon D., Ubel F.A., Shannon D.C., Barger A.C., Cohen R.J. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control// *Science*. 1981. 213. – P. 220-222.
11. Akselrod S., Gordon D., Madwed J.B., Spidman N.C., Shannon D.C., Cohen R.J. Hemodynamic regulation: Investigation by spectral analysis// *American Journal of Physiology*. 1985. 249. – P. 867-875.
12. Жуковский В. Д. Автоматизированная обработка данных клинических функциональных исследований. М.: Медицина. 1981. – С. 221.
13. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа. 1997. – С. 431.
14. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. М.: Мир. 1982.
15. Залманзон Л.А. Преобразование Фурье, Уолша, Хаара. М.: Наука. 1989.
16. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов. М. Радио и связь. 1985.
17. Harvey A.F., Cerna M. The fundamentals of FFT-based signal analysis and measurement in LabVIEW and LabWindows. Application note 041. National Instruments. www.ni.com
18. Lomb N.R. *Astrophysics and Space Science*. 1976. 39. – P. 447–462.
19. Press W. H. et al. *Numerical recipes in C: The art of scientific computing*. Cambridge University Press, 2nd ed. www.nr.com
20. Eckberg D.L. Human sinus arrhythmia as an index of vagal cardiac outflow// *Journal of Applied Physiology*. 1983. 54. – P. 961-966.
21. Grossman P., Svebak S. Respiratory sinus arrhythmia as an index of parasympathetic cardiac control during active coping// *Psychophysiology*. 1987. 24. – P. 228-235.
22. Pagani M., Lombardi F., Guzzetti S., Rimoldi O., Furlan R., Pizzinelli P., Sandrone G., Malfatto G., Dell'Orto S., Piccaluga E., Turiel M., Baselli G., Cerutti S., Milliani A. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog// *Circulation Research*. 1986. 59. – P. 178-193.
23. Pomeranz B., Maculay R.J.B., Caudill M.A., Kutz I., Adam D., Gordon D., Kilborn K.M., Barger A.C., Shannon D.C., Cohen R.J., Benson H. Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis// *American Journal of Physiology*. 1985. 248. – P. 151-153.
24. Hatch P.J., Borcharding S., German C. Cardiac sympathetic and parasympathetic activity during self-regulation of heart period// *Biofeedback and Self-Regulation*. 1992. 17. 2. – P. 89-106.
25. Donskaya O., Jafarova O., Lazareva O., Shtark M., Shubina O. Biofeedback game training in subjects of type A behavior// *The 14<sup>th</sup> Conference of the European Health Psychology Society*. Leiden. August 16-19, 2000. – P. 327.
26. Kamada T., Sato N., Miyake S. et al. Power spectral analysis of heart rate variability in Type A during solo and competitive mental arithmetic task// *Journal of Psychosomatic Research*. 1992. 36. 6. – P. 543-551.

---

## **GAME BIOFEEDBACK - A TECHNOLOGY FOR PREVENTING STRESS-INDUCED DISORDERS**

**O. A. Jafarova, O. G. Donskaya, A. A. Zubkov, M. B. Shtark**

*Institute for Molecular Biology and Biophysics, RAMS, Siberian Branch, Novosibirsk, Russia*

*Key words: computer rehabilitating games, preventing of stress-induced disorders, heart rate, spectral analysis, model of behavior.*

The paper presents the technology of game computer biofeedback. Theoretical and practical aspects of the method applying for correction of psychoemotional tension, and therefore for psychosomatic disorders prevention, are described.

26 healthy subjects passed through the course of game biofeedback using the rehabilitation game trainers "VIRA!" and "Rowing Canal". The course comprised 10-12 sessions of 20-30 minutes each. The game plot was controlled by the player's heart rate that had to be reduced by the player in order to win.

During the course the durations of cardiointervals were registered. To assess heart rhythm variability the rhythmogram spectral analysis was used. Before the course all subjects were put to psychological tests including: Russian version of STAI (Spielberger-Khanin test); Russian version of Mini-Mult test; Locus of Control; General State, Activity, Mood; JAS; Eysenck Personal Inventory. 8-color Luscher Test was used at the beginning, middle and final sessions of the course, before and after the seance.

According to the results of the investigation all subjects were divided in two groups: resistable (Group 1) or susceptible (Group 2) to emotional stress. The subjects from Group 1 successfully reached the aim of the training from the very beginning, the subjects from Group 2 met significant difficulties during the training course. The participants were found to differ both in psychological and physiological parameters, particularly in regulation mechanisms of vegetative functions. All subjects learned to increase RR-intervals to the course end, but the change of vegetative balance to more parasympathetic activity occurred in different ways: by the increase of parasympathetic tone in Group 1, and by the decrease of sympathetic activity in Group 2.

The individual model of behavior appeared to be the main determining factor of learning self-regulation in the modeled stressful situation. The subjects susceptible to emotional stress had higher index of internality and belonged to type A behavior.

The undoubted positive effect of the game biofeedback was shown especially for subjects susceptible to stress. During the training they trained to overcome modeled emotionally stressful situation, to reduce the level of sympathetic activity, to develop behavior strategy that allowed reacting properly to real life situations.

---