

# Связь индивидуальных механизмов саморегуляции со свойством стрессоустойчивости

Щебланов В.Ю.<sup>1</sup>, Бобров А.Ф.<sup>1</sup>, Джафарова О.А.<sup>2,3</sup>, Надоров С.А.<sup>1</sup>

## The relation between the individual mechanisms of self-regulation and stress-resistance

*Shcheblanov V.Yu., Bobrov A.F., Jafarova O.A., Nadorov S.A.*

<sup>1</sup> Федеральный медико-биологический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва

<sup>2</sup> НИИ молекулярной биологии и биофизики СО РАМН, г. Новосибирск

<sup>3</sup> ООО «Компьютерные системы биоуправления», г. Новосибирск

© Щебланов В.Ю., Бобров А.Ф., Джафарова О.А., Надоров С.А.

Исследованы психофизиологические различия групп, отличающихся степенью выраженности способностей саморегуляции в условиях действия стресс-нагрузки, моделируемой средствами игрового биоуправления. Проведено сравнение с оценкой стрессоустойчивости на модели операторской деятельности в условиях действия фактора ограничения времени. Показана связь эффективности деятельности в процессе игрового биоуправления и стрессоустойчивости, на основе чего предложен новый способ оценки этого ключевого качества лиц опасных профессий.

**Ключевые слова:** индивидуальная способность саморегуляции, игровое биоуправление, стрессоустойчивость.

In this paper we described psycho-physiological characteristics of the groups with different extent of the intensity of self-regulation skills under stress modelled by game biofeedback technology. We compared them with the stress-resistance evaluation from the model of operators' performance under conditions of limited time. The relation between the effectiveness of the performance during game biofeedback and stress resistance was shown. The new method of the evaluation of this key characteristic of hazardous occupation was suggested.

**Key words:** individual self-regulation skills, game biofeedback, stress resistance.

УДК 612.85:57.054]-027.521:159.944.4

### Введение

Стремительное развитие промышленных предприятий с высокими технологиями, мультимодальных транспортных систем, сопровождающееся возрастанием числа инцидентов и аварий вследствие ошибок человека, особенно находящегося в стрессовых ситуациях, выдвинуло в последние 20 лет на первый план задачу обеспечения надежности человека-оператора [3, 10, 12]. Для реализации этих целей, а именно: совершенствования профессионального отбора, психофизиологического обеспечения надежности профессиональной деятельности и сохранения профессионального здоровья персонала, — было разработано и апробировано в ОАО «Российские железные дороги», РАО ЕЭС, ВЦМК «Защита», ФМБА России множество отечественных систем психологического и психофизиологического тестирования. Именно профессио-

нальный отбор является одним из основных инструментов, повышающих надежность и эффективность деятельности персонала, относимого к категории лиц опасных профессий. Среди оцениваемых профессиональных качеств стрессоустойчивость занимает ведущее положение [1, 2, 9]. Выявление и описание устойчивых паттернов характеристик функционального состояния свойства стрессоустойчивости при профессиональном отборе является одним из современных подходов к решению задачи повышения профессиональной надежности лиц опасных профессий.

Известно, что для адекватной оценки стрессоустойчивости в сложной ситуации необходимо применить большое число психологических, психофизиологических тестов, среди них кроме традиционного набора основную роль начинают играть процедуры, моделирующие профессионально значимые ситуации [9, 10], психофизиологические модели соревнования,

ситуации неопределенности, сложные моторные и когнитивные задания, выполняемые в условиях ограничения времени. Информация о реакциях организма на стресс, степень и скорость их восстановления по показателям физиологических систем является (вместе с результатами психофизиологической диагностики и психологического тестирования) комплексом объективной информации, на основании которого составляется заключение о степени стрессоустойчивости испытуемого.

В качестве эффективного средства моделирования стресс-эмоциональной нагрузки широко используются игровые модели, параметры выполнения которых изменяются в соответствии со способностью саморегуляции функций человеческого организма, осуществляемого с помощью технологии биоуправления [4, 5, 13]. Результаты работ по исследованию способов саморегуляции методами и средствами игрового биоуправления позволили выделить несколько профилей, среди которых имеются как эффективные, так и неэффективные стратегии [7, 8], что дает возможность с определенной долей вероятности прогнозировать способности, склонности, особенности поведения, эффективность функционирования испытуемого в стрессовых условиях реальной деятельности.

Цель настоящего исследования — изучение связи индивидуальных механизмов саморегуляции со свойством стрессоустойчивости человека-оператора, оцениваемых классическими психофизиологическими методами.

## Материал и методы

В исследовании приняли участие 35 человек (11 женщин и 24 мужчины). Средний возраст женщин составил ( $21,5 \pm 0,9$ ) года, мужчин — ( $21,1 \pm 0,7$ ) года, в общем — ( $21,2 \pm 0,8$ ) года.

Изучение психофизиологического состояния испытуемых проводилось с использованием набора тестов, входящих в компьютерный комплекс для психофизиологических исследований КПФК-99 «Психомат» (разработка ЗАО «ВНИИМП-ВИТА» РАМН): тесты «Простая зрительно-моторная реакция» (ПЗМР), «Критическая частота слияния световых мельканий» (КЧСМ), «Статический тремор», «Арифметический счет», «Память на числа», «Корректирующая проба», «Теппинг-тест», «Внимание при расстановке чисел», «Распределение внимания („Красно-черные табли-

цы“)». Всего по перечисленным методикам регистрировалось 60 параметров, характеризующих различные аспекты психофизиологического состояния.

Исследование вегетативного тонуса проводилось методами вариационной кардиоинтервалометрии до, после и во время проведения сессии игрового биоуправления, организованного по частоте сердечных сокращений (ЧСС). Электрокардиограмма регистрировалась в 1-м стандартном отведении (левая рука — правая рука) продолжительностью 3—4 мин.

Для оценки способностей саморегуляции использовался аппаратно-программный комплекс «БОС-Пульс» (разработка НИИ молекулярной биологии и биофизики СО РАМН, г. Новосибирск), укомплектованный набором компьютерных игр «Вира!» и «Ралли» на основе адаптивной обратной связи. Сюжет игр в течение пяти повторных предъявлений каждого теста управлялся ЧСС с помощью специального датчика, регистрирующего сигнал фотоплетизмографическим способом с концевой фаланги указательного пальца.

Этот способ диагностики способностей саморегуляции, готовности к эффективному действию в ситуации соревнования интересен тем, что игровой соревновательный сюжет управляется физиологическими функциями тестируемого, а добиться выигрыша возможно, лишь применяя эффективные стратегии поведения, контроля и саморегуляции психовегетативного статуса.

**Игровой сюжет «Вира!».** Соревнование по подводному погружению, в котором скорость играющего обратно пропорциональна пульсу, является психофизиологической моделью стрессовой ситуации, выполненной в виде игры.

Играющий управляет одним из соревнующихся. Его задача — обогнать соперника, скорость которого — это скорость игрока, достигнутая в предыдущей попытке. Чтобы обогнать соперника и победить в игре, испытуемому нужно продемонстрировать навыки саморегуляции, умение управлять физиологическими функциями в стрессовой ситуации.

**Игровой сюжет «Ралли».** Шоссейные гонки с препятствиями. Чем медленнее пульс играющего, тем быстрее движется автомобиль. Испытуемый должен внимательно следить за дорогой, чтобы как можно быстрее реагировать на камни, внезапно появляющиеся на его пути.

Умение контролировать свой сердечный ритм одновременно с поддержанием высокого уровня концен-

трации внимания, определяемого временем реагирования на препятствия, усложняют задачу в игровом сюжете «Ралли». С его помощью проводятся исследования оптимальной организации ресурсов организма в условиях длительно действующего стресса.

Протокол тестирования описан, в частности, в статье К.Г. Мажериной и соавт. [7].

Классификация обследованных методом кластерного анализа была осуществлена по интегральным показателям (средним относительным приростам соответствующих величин):  $Eff_{RR}$  — эффективность биоуправления по длительности кардиоинтервалов и  $Eff_{RT}$  — эффективность по времени реакции, которые вычислялись по формулам:

$$Eff_{RR} = \frac{e^{\sum_{i=2}^N RR_i} - RR_1}{N - 1} \cdot 100\%;$$

$$Eff_{RT} = - \frac{e^{\sum_{i=2}^N RT_i} - RT_1}{N - 1} \cdot 100\%;$$

где  $RR_i$  — средняя длительность кардиоинтервалов за  $i$ -ю попытку;  $RT_i$  — среднее значение времени реакции на помехообразующие стимулы за  $i$ -ю попытку;  $N$  — число попыток в сессии.

Основной целью кластерного анализа являлось выделение групп лиц, отличающихся по эффективности саморегуляции. Сбор данных и статистическую обработку проводили с помощью пакета статистических программ Statistica 6.0 (Statsoft, США) [11].

## Результаты и обсуждение

Как следует из результатов исследований модели операторской деятельности [9, 12], лица с наилучшими профессиональными качествами демонстрируют высокие скоростные (низкие временные) и высокие точностные характеристики выполнения психофизиологических тестов (их стратегию поведения можно считать оптимальной); противоположному типу характерны или низкие скоростные результаты при высоких точностных показателях (их стратегию поведения можно условно назвать стратегией на качество) или, наоборот, высокие скоростные и низкие точностные результаты (стратегия на скорость). Формирование стресс-эмоциональной нагрузки при выполнении моделируемой операторской деятельности осуществ-

ляется введением дефицита времени на выполнение заданий психофизиологического тестирования, что изменяет стратегию поведения тестируемых лиц в зависимости от базового уровня стрессоустойчивости. Показано, что у лиц с высоким уровнем стрессоустойчивости такая процедура не меняет существенно стратегию поведения.

В настоящем исследовании в подгруппах, выделенных на основе иерархического кластерного анализа по интегральным показателям  $Eff_{RR}$  игры «Вира!»,  $Eff_{RR}$  и  $Eff_{RT}$  игры «Ралли», было проведено сравнение результатов психофизиологического тестирования.

В результате проведения иерархического агломеративного кластерного анализа (метод Ward's, метрика Евклида) было выделено три группы. Установлено, что полярными по способностям к саморегуляции физиологических функций являлись первая (14 человек) и третья (18 человек) группы. Лица, вошедшие во вторую группу, занимали промежуточное положение. В силу этого, а также ее малой численности (3 человека) дальнейший анализ проводился только для первой и третьей групп.

Интегральный показатель успешности деятельности  $Eff_{RT}$  в первой группе оказался положительным ( $(14,4 \pm 3,3)\%$ ), а в третьей — отрицательным ( $(-10,3 \pm 1,7)\%$ ), что свидетельствовало о более выраженной тенденции к уменьшению времени реагирования на препятствия от первой попытки к последней соответственно по сравнению с третьей группой. Различия между группами по данному показателю статистически высоко достоверны ( $p = 0,0001$ ,  $U$ -критерий Манна—Уитни).

Можно провести некоторую аналогию динамики времени реакции в сессии «Ралли» с готовностью к экстремальным действиям и бдительностью оператора, по которой в инженерной психологии и психологии труда имеются значительные разработки [9, 10]. В.Н. Пушкин и Л.С. Нерсисян еще в 1972 г. в ходе психологического анализа профессии машиниста выделили «основное профессионально важное качество — способность сохранить в условиях длительного, монотонного воздействия высокий уровень готовности к экстремальным ситуациям» [9], от которого зависит его безаварийная деятельность. Стрессоустойчивость и бдительность достаточно тесно связаны, готовность к экстремному действию в условиях монотонии есть существенный компонент стрессоустойчивости, во

многим определяющий профессиональную надежность человека-оператора.

Характеристики динамики кардиоинтервалов  $Eff_{RR}$  в обоих тестах значимо не различались, однако в первой группе эффективность деятельности была выше, что свидетельствовало о тенденции к уменьшению ЧСС от начальной попытки к последней.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что в первую группу вошли лица, более успешно справившиеся с тестированием методом игрового биоуправления, что может свидетельствовать о более развитых навыках саморегуляции. По совокупности показателей успешности  $Eff_{RT}$ ,  $Eff_{RR}$  — «Вира» и  $Eff_{RR}$  — «Ралли» точность распознавания «успешных» и «неуспешных» лиц с помощью пошаговой процедуры «Forward» линейного дискриминантного анализа составила 100%.

С использованием пошагового дискриминантного анализа были выявлены наиболее информативные показатели, разделяющие психофизиологическое состояние «успешных» и «неуспешных» лиц. В их число вошли показатели методик, оценивающих лабильность нервных процессов (КЧСМ), скорость и устойчивость нервных процессов (ПЗМР), оперативную память (арифметическое сложение чисел), объем и концентрацию внимания (кольца Ландольта), силу нервной системы, подвижность нервных процессов, степень работоспособности (теппинг-тест) и распределение внимания (черно-красные таблицы). Среднее

значение правильной классификации групп по информативным показателям перечисленных методик составило 96,3%.

В табл. 1 приведены средние значения и достоверность их различия по наиболее информативным психофизиологическим показателям.

Установлено, что у лиц первой группы («успешные») в большей степени развиты такие психофизиологические функции, как оперативная память (более низкие значения среднего и суммарного времени выполнения заданий в тесте «Арифметические вычисления»), объем и концентрация внимания (более высокая успешность ответов и меньшее число ошибок в тесте «Корректирующая проба»), распределение внимания (меньшее число ошибок по таблице черных чисел в тесте «Красно-черные таблицы»), скорость реакции (меньшие значения среднего латентного времени простой сенсомоторной реакции). Актуализация именно этих функций в первую очередь необходима при выполнении сложной операторской деятельности. У лиц третьей группы («неуспешные») в большей степени развиты функции, позволяющие продуктивно выполнять задания, связанные с выполнением стереотипных функций (более низкий средний интервал реакций различных эпох в теппинг-тесте при близких с «успешными» лицами значениях тренда). Для них также характерна большая лабильность нервных процессов (более высокие значения критической частоты световых

Таблица 1

Средние значения ( $M \pm m$ ) и достоверность различия  $p$  по показателям психофизиологического тестирования в подгруппах исследования

Показатель	Группа		$p$
	Первая (14 человек)	Вторая (18 человек)	
Успешность ответов в тесте «Корректирующая проба», %	97,8 ± 0,7	95,7 ± 0,7	0,0384*
Число ошибок в тесте «Корректирующая проба», шт.	1,1 ± 0,4	2,3 ± 0,4	0,0384*
Средний интервал в «Теппинг-тесте», мс	157,6 ± 4,0	148,6 ± 2,5	0,0205*
Средний интервал реакций первой эпохи в «Теппинг-тесте», мс	153,4 ± 4,7	142,3 ± 2,0	0,0461*
Среднее латентное время простой сенсомоторной реакции, мс	254,9 ± 7,5	266,1 ± 7,8	0,1965
СКО латентного времени простой сенсомоторной реакции, мс	58,5 ± 19,6	65,5 ± 16,5	0,1599
Количество ошибочных реакций простой сенсомоторной реакции, шт.	0,6 ± 0,4	1,2 ± 0,3	0,1599
СКО моторного времени простой сенсомоторной реакции, мс	39,0 ± 5,5	28,1 ± 2,4	0,1149
Критический период в тесте КЧСМ, мс	28,5 ± 1,8	24,6 ± 1,2	0,1106
Критическая частота в тесте КЧСМ, Гц	36,7 ± 2,0	42,7 ± 2,4	0,1106
Среднее время в тесте «Арифметические вычисления», мс	1 860,5 ± 88,5	2 099,6 ± 75,8	0,0527
Суммарное время в тесте «Арифметические вычисления», мс	111 661,8 ± 5 312,0	125 999,2 ± 4 548,8	0,0527
Средний интервал реакций второй эпохи в «Теппинг-тесте», мс	154,9 ± 3,7	148,9 ± 3,3	0,1489
Средний интервал реакций третьей эпохи в «Теппинг-тесте», мс	161,0 ± 3,8	152,4 ± 3,3	0,1239
Нормированная разность средних интервалов 1-й и 2-й эпох в «Теппинг-тесте», усл. ед.	0,011 ± 0,014	0,042 ± 0,016	0,0984

Среднее время по таблице черных чисел в тесте «Красно-черные таблицы», мс  
Число ошибок по таблице черных чисел в тесте «Красно-черные таблицы», шт.

6 831,9 ± 342,9	7 691,2 ± 460,1	0,1837
2,1 ± 0,4	3,3 ± 0,6	0,0839

\* Здесь и в табл. 2  $p < 0,05$ .

Таблица 2

Средние значения ( $M \pm m$ ) и достоверность различия показателей ВСП в группах исследования

Показатель	Группа		p
	Первая (14 человек)	Вторая (14 человек)	
LF/HF, игра «Вира!», попытка 1, усл. ед.	0,7 ± 0,2	1,7 ± 0,3	0,0176*
RT (среднее время реакции на камни), игра «Ралли», попытка 1, мс	718,2 ± 55,8	558,0 ± 34,2	0,0167*
Вариационный размах, игра «Ралли», попытка 1, мс	663,0 ± 59,0	520,0 ± 37,0	0,0128*
ИН, игра «Ралли», попытка 1, усл. ед.	41,4 ± 12,7	50,1 ± 8,6	0,0367*
ИВР, игра «Ралли», попытка 1, усл. ед.	70,9 ± 22,4	83,7 ± 12,7	0,0227*
LF, игра «Вира!», попытка 2, мс <sup>2</sup> /Гц	2 027,8 ± 777,7	3 020,4 ± 747,6	0,0441*
pNNL10, игра «Вира!», попытка 3, %	16,1 ± 1,6	22,0 ± 2,1	0,0441*
LWS, игра «Вира!», попытка 3, усл. ед.	31,9 ± 4,5	43,7 ± 4,2	0,0482*
Триангулярный индекс, игра «Вира!», попытка 3, усл. ед.	25,9 ± 1,0	19,8 ± 1,3	0,0024*
LF, игра «Вира!», попытка 4, мс <sup>2</sup> /Гц	1 620,9 ± 619,7	3 223,2 ± 981,7	0,0276*
LF/HF, игра «Вира!», попытка 4, усл. ед.	1,1 ± 0,3	2,2 ± 0,6	0,0384*
LF/HF, игра «Ралли», попытка 4, усл. ед.	0,75 ± 0,11	1,50 ± 0,23	0,0205*
Коэффициент вариации, игра «Ралли», попытка 1, %	11,38 ± 1,23	8,69 ± 0,54	0,0500*
LF/HF, игра «Ралли», попытка 5, усл. ед.	1,04 ± 0,31	1,95 ± 0,35	0,0250*

мельканий). Можно предположить, что испытуемые первой группы более стрессоустойчивы, а третья группа характеризуется сниженным уровнем стрессоустойчивости.

При исследовании взаимосвязи вегетативных функций с успешностью саморегуляции (уровнем) стрессоустойчивости по фоновым данным достоверных отличий показателей variability сердечного ритма (ВСП) не выявлено. Под воздействием стресс-эмоциональной нагрузки вегетативная реакция лиц с различным уровнем стрессоустойчивости достоверно отличалась (табл. 2).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что вегетативный баланс лиц со сниженным уровнем стрессоустойчивости смещен в сторону симпатических реакций. Это проявляется в достоверном увеличении индекса напряжения (ИН) регуляторных систем на игре «Ралли», коэффициента вагосимпатического баланса (LF/HF), индекса медленноволновой структуры ритма сердца (LWS), индекса вегетативного равновесия (ИВР), а также в направленности изменения многих других показателей ВСП.

Это позволяет сделать вывод о том, что вегетативная «цена» выполнения стресс-эмоциональной нагрузки у лиц со сниженным уровнем стрессоустойчивости выше, чем у стрессоустойчивых, что находит отражение в

повышении напряжения регуляторных систем организма.

### Заключение

В проведенном исследовании экспериментально показано, что лица, демонстрирующие развитые способности саморегуляции в сложных условиях, обладают высокой, а лица со сниженными способностями саморегуляции — более низкой стрессоустойчивостью. Игровое биоуправление можно рассматривать как новый способ формирования стресс-нагрузки при проведении психофизиологического тестирования на стрессоустойчивость, позволяющий более точно выявить особенности поведения в стрессовой ситуации за счет оценки состояния механизмов саморегуляции испытуемого.

Можно заключить, что способности к саморегуляции в эмоционально-значимых условиях, проявляемые средствами и методами технологии биоуправления, являются базовыми функциями, лежащими в основе индивидуальных характеристик стрессоустойчивости.

### Литература

1. Бадьшитов Б.А., Колотилкинская Н.В., Махнычева А.Л. и др. Специфические характеристики здоровых добровольцев

- с различной реакцией на эмоциональный стресс // Физиология человека. 2002. Т. 28, № 2. С. 55—62.
2. Березин Ф.Б. Психическая и психофизиологическая адаптация человека. Л.: Наука, 1988. 270 с.
  3. Бодров В.А., Орлов В.Я. Психология и надежность: человек в системах управления техникой. М.: Институт психологии РАН, 1998. 288 с.
  4. Вангревич О.А., Донская О.Г., Зубков А.А. и др. Игровое биоуправление и стресс-зависимые состояния // Бюл. СО РАМН. 2004. № 3 (113). С. 53—60.
  5. Джафарова О.А., Донская О.Г., Зубков А.А. Игровое компьютерное биоуправление (развитие и современность) // Мед. техника. 2007. Вып. 4. С. 41—46.
  6. Мажирина К.Г. Личностные особенности и динамика саморегуляции в процессе игрового биоуправления: автореф. дис. ... канд. психол. наук. Новосибирск, 2009.
  7. Мажирина К.Г., Джафарова О.А., Фрезе В.Р. Типологизация профилей индивидуальной динамики саморегуляции личности при помощи технологии компьютерного игрового биоуправления // Бюл. сиб. медицины. 2010. Т. 9. № 2 (в печати).
  8. Мажирина К.Г., Первушина О.Н., Джафарова О.А. Индивидуальные механизмы саморегуляции: их мобилизация и прогнозирование в условиях, характеризующихся высокой степенью неопределенности // Вестн. ТГУ. 2008. № 310. С. 169—173.
  9. Нерсесян Л.С. Железнодорожная психология. 2-е изд. М.: Реинфор, 2005. 534 с.
  10. Нерсесян Л.С. Психологические аспекты повышения надежности управления движущимися объектами. М.: Промдэк, 1992. 287 с.
  11. Халафян А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных. М.: Бином-Пресс, 2007. 512 с.
  12. Щепланов В.Ю., Бобров А.Ф. Надежность деятельности человека в автоматизированных системах и ее количественная оценка // Психолог. журн. 1990. Т. 11, № 3. С. 60—69.
  13. Wilson V.E., Gunkleman J. Practical applications of psychophysiology and neurotherapy in sport // J. of Neurotherapy. 2000. V. 12. P. 14—21.

Поступила в редакцию 08.12.2009 г.

Утверждена к печати 22.12.2009 г.

#### Сведения об авторах

- В.Ю. Щепланов** — д-р биол.-наук, профессор, зав. лабораторий психофизиологического обеспечения персонала радиационно-опасных производств ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (г. Москва).
- А.Ф. Бобров** — д-р биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории психофизиологического обеспечения персонала радиационно-опасных производств ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (г. Москва).
- О.А. Джафарова** — канд. физ.-мат. наук, доцент, руководитель лаборатории компьютерных систем биоуправления НИИ молекулярной биологии и биофизики СО РАМН (г. Новосибирск).
- С.А. Надоров** — канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории психофизиологического обеспечения персонала радиационно-опасных производств ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (г. Москва).

#### Для корреспонденции

Щепланов Виктор Ювеналиевич, тел. (499) 193-01-84, e-mail: 60K124@mail.ru