

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА АДАПТИВНЫХ МЕХАНИЗМОВ СПОРТСМЕНА КАК ОСНОВА ЭФФЕКТИВНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

К.Г. Мажирин¹, mazhirinaks@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1716-738X>

Е.Н. Даниленко¹, elena.danilenko2011@yandex.ru

О.А. Джафарова¹, jafarova@niimbb.ru

К.С. Назаров², Themourningcomes@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1147-6437>

И.Н. Митин², pino4t@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2168-921X>

¹ Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия

² Федеральное научно-клиническое учреждение здравоохранения «Федеральный научный центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», Москва, Россия

Аннотация. Цель: комплексная оценка адаптивных механизмов спортсменов и построение на ее основе персонализированных программ восстановительных мероприятий медико-психологического обеспечения спортсменов. **Материалы и методы.** Использовались психофизиологические методики с аппаратным предъявлением стимулов и регистрацией ответных реакций на скорость и точность, чередующиеся с мониторингом в состоянии отдыха (АПК «БОСЛАБ», производство ООО «КОМСИБ»). **Результаты.** На основе результатов тестирования психофизиологического состояния спортсмена предложены варианты персонализации восстановительных мероприятий медико-психологического обеспечения спортсменов высокого класса. **Заключение.** Создание и внедрение новых психофизиологических технологий оценки адаптивных механизмов спортсменов и повышения эффективности тренировочного и восстановительного процесса является необходимым условием для достижения успехов в современном спорте.

Ключевые слова: спорт высших достижений, моделирование стресса, психофизиологическое тестирование, функциональное состояние, эмоциональное реагирование, саморегуляция

Для цитирования: Комплексная оценка адаптивных механизмов спортсмена как основа эффективной реализации восстановительных мероприятий / К.Г. Мажирин, Е.Н. Даниленко, О.А. Джафарова и др. // Человек. Спорт. Медицина. 2023. Т. 23, № 3. С. 166–173. DOI: 10.14529/hsm230322

Original article
DOI: 10.14529/hsm230322

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF ADAPTIVE MECHANISMS AS THE BASIS FOR EFFECTIVE RECOVERY

K.G. Mazhirina¹, mazhirinaks@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1716-738X>

E.N. Danilenko¹, elena.danilenko2011@yandex.ru

O.A. Dzhafarova¹, jafarova@niimbb.ru

K.S. Nazarov², Themourningcomes@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1147-6437>

I.N. Mitin², pino4t@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2168-921X>

¹ Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine, Research Institute of Molecular Biology and Biophysics, Novosibirsk, Russia

² Federal Research and Clinical Center for Sports Medicine and Rehabilitation of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

Abstract. Aim. To provide a comprehensive assessment of adaptive mechanisms and to develop personalized rehabilitation programs for the medical and psychological support of athletes. **Materials and methods.** The study involved equipment-based psychophysiological methods to present stimuli and record

the speed and accuracy of responses. Psychophysiological measurements were performed along with body monitoring at rest (BOSLAB system, COMSIB Ltd.). **Results.** The options for individual rehabilitation programs that include medical and psychological support for elite athletes are proposed based on psychophysiological measurements. **Conclusion.** Performance enhancement in modern sports requires new psychophysiological technologies for the assessment of adaptive mechanisms and further improvement of training and recovery effectiveness.

Keywords: elite sport, stress modeling, psychophysiological testing, functional state, emotional response, self-regulation

For citation: Mazhirina K.G., Danilenko E.N., Dzhafarova O.A., Nazarov K.S., Mitin I.N. Comprehensive assessment of adaptive mechanisms as the basis for effective recovery. *Human. Sport. Medicine.* 2023;23(3):166–173. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm230322

Введение. Многообразие всех состояний, наблюдающихся на различных уровнях функционирования организма и личности, реализуется в такой интегральной характеристике, как психофизиологическая адаптация. Основываясь на концептуальных положениях П.К. Анохина и Е.П. Ильина [1], под психофизиологической адаптацией понимается общая реакция функциональных систем личности и организма на действие внутренних и внешних факторов, направленная на достижение социобиологического полезного результата. Под психофизиологическим обеспечением понимается система мероприятий, направленных на оценку характера и степени выраженности профессионально значимых психологических и психофизиологических качеств и состояний, определяющих профессиональную пригодность и надёжность деятельности человека в какой-либо сфере [1, 2, 6].

Основные направления психофизиологической диагностики в спорте традиционно затрагивают оценку индивидуальных особенностей спортсмена и исследование его функционального состояния [2, 3]. Одним из наиболее перспективных направлений диагностики и коррекции с использованием адаптивной обратной связи является технология биоуправления, моделирующая ситуации, погружаясь в которые человек проявляет свои психофизиологические особенности, такие как вариабельность сердечного ритма, функциональная подвижность нервных процессов, эмоциональная саморегуляция, что представляет основу для персонификации восстановительных мероприятий медико-психологического обеспечения спортсменов [3–5].

Целью работы является комплексная оценка адаптивных механизмов спортсменов и построение на ее основе персонифицированных программ восстановительных меро-

приятий медико-психологического обеспечения спортсменов.

Материалы и методы. Участники исследования: в исследовании приняли участие 67 спортсменов, входящих в состав национальных сборных России по следующим видам спорта: игровой – волейбол, 19 человек (возраст 16–18 лет, М = 16,8); единоборства – карате (кумите) и тхэквондо, 31 человек (возраст 18–33 года, М = 22,7); единоборства – карате (ката), 10 человек (возраст 17–27 лет, М = 21,4); циклический вид спорта – триатлон, 7 человек (возраст 18–21 год, М = 20,7).

Протокол исследования: для оценки психофизиологического состояния участников предлагалось выполнение стресс-тестов (сессии 2, 4 и 6), чередующихся с отдыхом (сессии 3, 5) и фоновым мониторингом до начала и после выполнения стресс-тестирования (сессии 1, 7).

Предложенные стресс-тесты: 1) тест функциональной подвижности нервных процессов Хильченко (ФПНП); 2) методика простой зрительно-моторной реакции в модификации М.П. Мороз; 3) игровое приложение «Астероиды» использовалось в качестве эмоционального стрессора [2]. Регистрируемые физиологические сигналы: кожно-гальваническая реакция (КГР) и длительность кардиоинтервалов (RR). Маршруты программ восстановительных мероприятий строятся при помощи аппаратно-программного комплекса (АПК) «БОС-Пульс» (регистрационное удостоверение № ФСР 2011/11235, ООО «КОМСИБ»).

Методы анализа данных: для статистического анализа многомерного массива данных был использован метод главных компонент (Principal Component Analysis, Statistica 8.0) как с целью снизить размерность пространства признаков, сформировать/выделить наиболее информативные факторы, являющиеся

линейными комбинациями исходных признаков, так и провести классификацию наблюдений с учетом внутренней структуры полученного факторного пространства, выделить группы участников тестирования, которые можно проинтерпретировать с использованием смыслового наполнения главных компонент. Предполагалось, что удастся ограничиться плоскостью первых двух факторов, что может быть обосновано тем, что количество информации, сохраняемой при таком сокращении данных, будет не менее 70 %.

Результаты. Проведен анализ данных методом главных компонент с целью классификации участников на группы по психофизиологическим особенностям функционального состояния. В анализ было включено 28 признаков: средние значения длительности RR на сессиях отдыха (1, 3, 5 и 7) и стресс-сессиях (2, 4 и 6), обозначенных далее RR1–RR7; показатель, отражающий динамику длительности кардиоинтервалов – pNN50 (процент последовательных RR, отличающихся более чем на 50 мс), обозначенный как pNN50-1 – pNN50-7; средние значения кожной проводимости (КПр), вычисленные для

каждой сессии и обозначенные GSR-1 – GSR-7, а также параметр Range – диапазон изменений сигнала КПр внутри сессии, отражающий его волатильность. В статистический анализ были включены данные 60 человек. Было получено, что наиболее информативными признаками, определяющими структуру первых двух главных компонент (в них содержится 70,23 % информации), явились характеристики кардиоинтервалов (Factor 1) и средние значения кожной проводимости (Factor 2), степень изменчивости этого показателя большой роли не сыграла (рис. 1).

При анализе факторных весов признаков получено, что наибольший вклад в первую главную компоненту внесли признаки, оценивающие деятельность сердечно-сосудистой системы спортсменов, соответственно, отражающие их функциональное состояние; вторая главная компонента характеризует уровень регуляции эмоциональных реакций на стресс и когнитивную нагрузку. При решении задачи классификации наблюдений была построена проекция факторных координат участников на плоскость (Factor 1, Factor 2), что позволило выделить 4 группы (рис. 2).

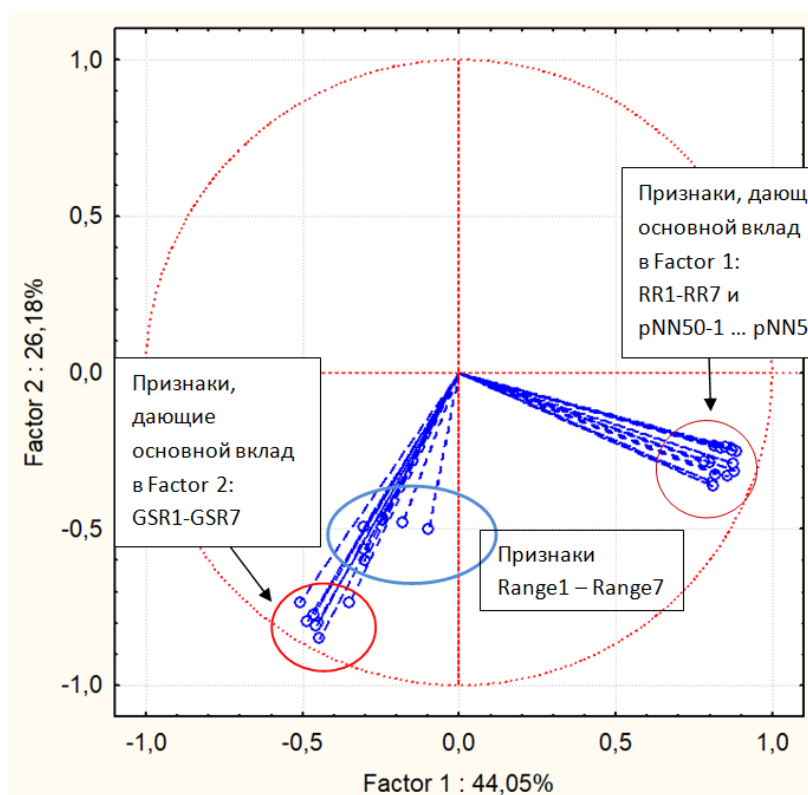


Рис. 1. Структура факторного пространства признаков – проекция вклада признаков (28 шт.) на плоскость первых двух главных компонент
Fig. 1. Plot of factor coordinates of variables – projection of variables (28 pcs.) on the factor-plane (1×2)

Все выделенные четыре группы ориентированы в разных четвертях на плоскости факторов, что указывает на отличные друг от друга свойства групп. Расположение объектов групп 1 и 0, 2 и 3 вдоль оси Factor 1 позволяет предположить, что эти группы попарно обладают схожими свойствами первой главной компоненты, связанной с признаками показателей сердечного ритма, при этом они имеют противоположные значения относительно оси Factor 2, связанной с показателями КГР (см. рис. 1). С другой стороны, имеется сходство между группами 0 и 3, а также 1 и 2 по 2-й главной компоненте (Factor 2).

Средние значения показателей RR1 – RR7

в процессе стресс-тестирования в группах 0 и 1 лежат в интервале 700–800 мс, в группах 2 и 3 эти показатели значительно выше: от 920 до 1050 мс (рис. 3). Среднее количество последовательных кардиоинтервалов, отличающихся друг от друга более, чем на 50 мс, составляет от 10 до 20 % в группах 0 и 1 и от 35 до 55 % в группах 2 и 3 соответственно (рис. 4).

Согласованность фоновых средних значений по группам показателей RR1-7 и pNN50-1-7, характеризующих деятельность CCC, отражает разные функциональные состояния выделенных групп. Можно дать следующее описание этих групп.

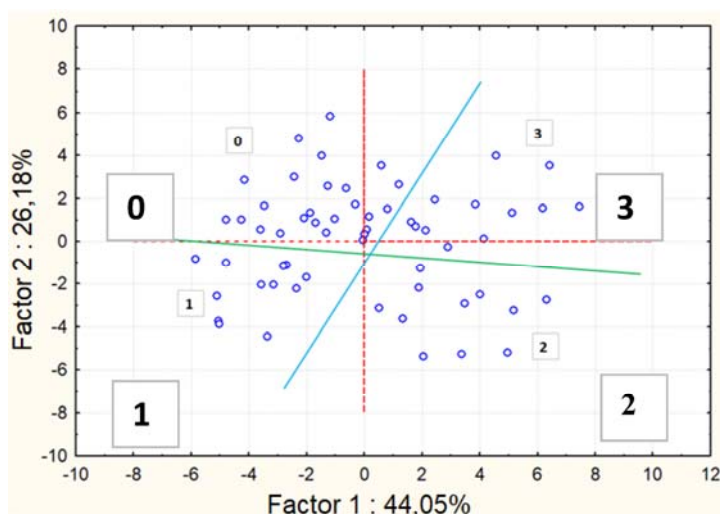


Рис. 2. Распределение обследованных спортсменов в плоскости первой и второй главных компонент (Factor 1, Factor 2)
Fig. 2. Distribution of examined athletes on the plane of the first and second principal components (Factor 1, Factor 2)

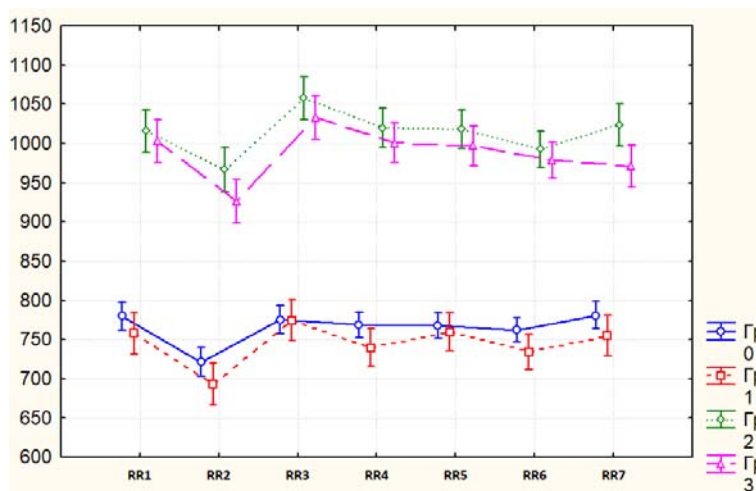


Рис. 3. Динамика средних значений и вариальности показателя RR по сессиям стресс-тестирования в группах 0-1-2-3
Fig. 3. Mean values and variability of RR for stress testing in groups 0-1-2-3

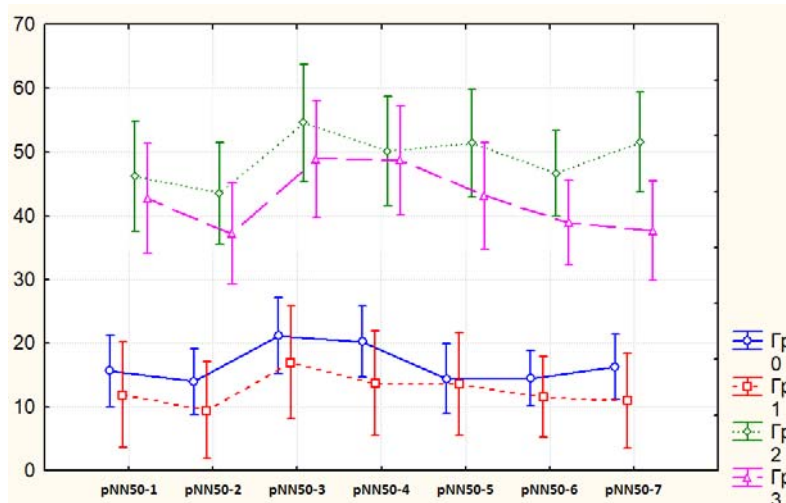


Рис. 4. Динамика средних значений и вариабельности показателя pNN50 по сессиям стресс-тестирования в группах 0-1-2-3
Fig. 4. Mean values and variability of pNN50 for stress testing in groups 0-1-2-3

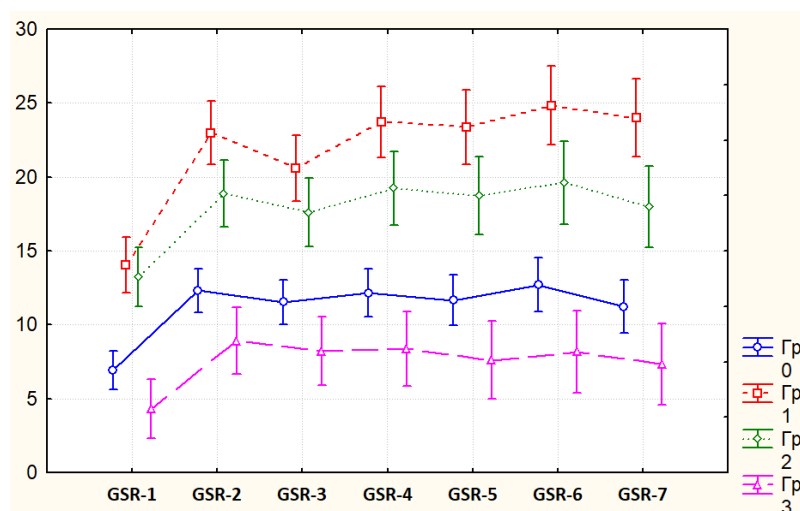


Рис. 5. Динамика средних значений и вариабельности показателя КПр по сессиям стресс-тестирования в группах 0-1-2-3
Fig. 5. Mean values and variability of skin conductivity (GSR) for stress testing in groups 0-1-2-3

Группа 0: нормокардия при выраженной синусовой аритмии – нестабильный пульс оптимальной частоты. Преобладание автономного контура регуляции.

Группа 1: нормокардия при сочетании с ригидным синусовым ритмом. Сбалансированное влияние симпатического и парасимпатического отделов ВНС. Отметим, что для группы 0 характерна более высокая вариабельность обоих показателей деятельности ССС, а для группы 1 – при меньшей вариабельности показателей более высокая реактивность на стрессовые стимулы.

Группы 2 и 3: синусовая брадикардия при сниженной вариабельности – редкий умерен-

но стабильный пульс. Отмечается преобладание парасимпатического отдела. У спортсменов высокого уровня – рабочее состояние с достаточным уровнем функциональных возможностей.

Средние значения КПр (GSR1 – GSR7) участников 1 и 2 групп изменяются соответственно в интервалах от 14 до 25 мкС и от 14 до 19 мкС, что свидетельствует об их избыточном эмоциональном реагировании на когнитивные задания и стресс, в то время как эти показатели в группах 0 и 3 отражают соответственно нормальную (интервал 8–14 мкС) и низкую (интервал 4–8 мкС) вовлеченность участников в процесс стресс-тестирования (рис. 5).

Обсуждение результатов: получена общая классификация участников по группам как по параметрам, отражающим деятельность ССС и, соответственно, функциональному состоянию, так и по параметрам КГР, отражающим эмоциональные реакции участников.

Участники группы 0 (26 чел.) тестировались в функциональном состоянии, близком к расслабленному, при нормальном уровне эмоционального реагирования на стресс, что указывает на наличие высокого уровня саморегуляции сердечного ритма и эмоций.

Участники группы 1 (12 чел.) работали в более затратном для организма состоянии: при фоновом оптимальном функциональном состоянии во время стресс-тестов демонстрировали учащение пульса и избыточное эмоциональное реагирование, что потребовало значительной мобилизации сил организма на активную деятельность и выразилось в преобладании симпатического отдела ВНС (снижение рNN50 на тестовых сессиях 2, 4,6).

Спортсмены групп 2 (11 чел.) и **3** (11 чел.) проходили стресс-тестирование в состоянии брадикардии (редкий пульс) при незначительных затратах организма на стрессовую нагрузку,

что отразилось в преобладании автономного контура регуляции, активации парасимпатического отдела ВНС (повышение рNN50). Однако эмоциональные реакции участники показали разные: спортсмены группы 2 – избыточное эмоциональное реагирование на сессиях стресс-тестирования, что увеличивало затраты организма на ситуативную адаптацию; спортсмены группы 3 – смогли справиться с эмоциями и показали состояние ареактивности при выполнении когнитивных задач и на отдыхе, что свидетельствует о наличии навыков саморегуляции и высокой стрессоустойчивости участников группы.

Следует отметить, что первичный запуск эмоциональных реакций на стрессовое воздействие развивается на подсознательном уровне, поэтому, с одной стороны, они сложно поддаются самоконтролю, с другой – это чувствительный индикатор интенсивности переживаемого стресса, физиологически выраженный в виде (КГР). Классификация участников представлена в таблице.

На основе результатов тестирования психофизиологического состояния можно предложить варианты персонификации восстано-

Психофизиологические особенности участников групп 0-1-2-3
Psychophysiological characteristics of participants in groups 0-1-2-3

Группа Group	Число участников Number of participants	Функциональное состояние (регуляция СР, активность ВНС) Functional state (HR regulation and nervous system)	Эмоциональное состояние (эмоциональная саморегуляция) Emotional state (emotional self-regulation)
0	26	Нормокардия, выраженная синусовая аритмия. Преобладание автономного контура регуляции. Normocardia, severe sinus arrhythmia. Predominance of the autonomic nervous system	Нормальное реагирование Normal response
1	12	Нормокардия. Сбалансированное влияние симпатического и парасимпатического отделов ВНС. Высокая реактивность на стрессовое воздействие при хорошем восстановлении. Normocardia. Balanced sympathetic and parasympathetic systems. High reactivity to stress with good recovery	Избыточное реагирование Excessive response
2	11	Синусовая брадикардия при сниженной вариабельности – редкий умеренно стабильный пульс. Преобладание парасимпатического отдела ВНС. Sinus bradycardia with reduced variability and a low-frequency, moderately stable pulse. Predominance of the parasympathetic nervous system	Избыточное реагирование Excessive response
3	11	Синусовая брадикардия при сниженной вариабельности – редкий умеренно стабильный пульс. Преобладание парасимпатического отдела ВНС. Sinus bradycardia with reduced variability and a low-frequency, moderately stable pulse. Predominance of the parasympathetic nervous system	Низкое реагирование (ареактивность) Low response (areactivity)

вательных мероприятий медико-психологического обеспечения спортсменов с использованием технологии игрового биоуправления [4]. Структура типовых программ основана на принципе поэтапного освоения и применения навыков саморегуляции и представлена шестью ступенями.

1-я ступень. **Ознакомление** – базовый тренинг, направленный на контроль длительности RR (осознанность, умение непрерывно отслеживать текущие переживания) и контроль RT (работоспособность – возможность индивида выполнять деятельность на заданном уровне эффективности). Базовый тренинг рекомендуется всем спортсменам, вне зависимости от группы классификации, и предполагает изучение различных техник и модальностей БОС.

2-я ступень. **Определение** – типовой тренинг, выстроенный на основе выбора мишени БОС-тренинга. На данном этапе маршруты восстановительных мероприятий выстраиваются с учетом оценки и контроля динамики психофизиологического состояния и степени напряжения механизмов адаптации.

3-я ступень. **Моделирование** – персонализированный тренинг, построенный с учетом модальности игровых приложений. Данная ступень программы направлена на определение стратегий саморегуляции и их развитие и совершенствование.

4-я ступень. **Тренировка** – по результатам ступеней 1–3 происходит формирование протокола БОС-тренинга: время сессии, количе-

ство попыток, последовательность игровых сюжетов, план тренировки.

5-я ступень. **Достижение** – тренинг, направленный на формирование оптимального уровня саморегуляции на основе полученных индивидуальных результатов.

6-я ступень. **Преобразование** – тренинг, направленный на перенос навыков из лабораторных условий в соревновательную деятельность.

Заключение. Предложенный в работе алгоритм оценки адаптивных механизмов спортсмена позволил выявить закономерные связи между особенностями деятельности ССС, отражающей функциональное состояние, и показателями КГР, связанными с уровнем регуляции эмоциональных реакций на стресс. Психофизиологические особенности участников, выделенные в результате классификации групп, дают возможность индивидуализации и оптимизации программ восстановительных мероприятий медико-психологического обеспечения спортсменов.

Предложенные принципы построения программ восстановительных мероприятий с использованием БОС-тренинга позволяют: развивать навыки стрессоустойчивости, повышать качество процессов восстановления после интенсивных нагрузок, обучаться произвольному вхождению и удержанию в оптимальных психофизиологических состояниях, получивших за рубежом название The Zone – состояния, характерные для победителей.

Список литературы

1. Ильин, Е.П. *Психофизиология состояний человека*. – СПб.: Питер, 2005. – 412 с
2. Тишакин, Д.И. *Анализ психофизиологических реакций при стресс-тестировании курсантов военных вузов* / Д.И. Тишакин, О.А. Джафарова, О.Л. Гребнева // *Бюл. сибир. медицины*. – 2010. – № 2. – С. 73–77.
3. Beckmann, J. *Self-regulation and recovery: approaching an understanding of the process of recovery from stress* / J. Beckmann, M. Kellmann // *Psychol Rep.* – 2004. – Vol. 95. – P. 1135–1153.
4. *Self-regulation Strategies and Heart Rate Biofeedback Training* / O. Jafarova, K. Mazhirina, E. Sokhadze, M. Shtark // *Appl Psychophysiol Biofeedback*. – 2020. – Vol. 45 (2). – P. 87–98.
5. Wagner, D.D. *Emotion and selfregulation failure* / D.D. Wagner, T.F. Heatherton // J.J. Gross (eds.) *Handbook of emotion regulation*. – 2nd ed. – New York: Guilford Press, 2014. – P. 613–628.
6. Zimmerman, B.J. *Attaining self-regulation: a social cognitive perspective* // Boekaerts M., Pintrich P.R., Zeidner M. *Handbook of self-regulation*. – San Diego, CA: Academic Press, 2000. – P. 13–39.

References

1. Ilyin E.P. *Psikhofiziologiya sostoyaniy cheloveka* [Psychophysiology of Human States]. St. Petersburg, Peter Publ., 2005. 412 p.
2. Tishakin D.I., Dzhafarova O.A., Grebneva O.L. [Analysis of Psychophysiological Reactions During Stress Testing of Cadets of Military Universities]. *Byulleten' sibirskoy meditsiny* [Bulletin of Siberian Medicine], 2010, no. 2, pp. 73–77. (in Russ.) DOI: 10.20538/1682-0363-2010-2-73-77

3. Beckmann J., Kellmann M. Self-Regulation and Recovery: Approaching an Understanding of the Process of Recovery from Stress. *Psychology Rep.*, 2004, no. 95, pp. 1135–1153. DOI: 10.2466/pr0.95.3f.1135-1153

4. Jafarova O., Mazhirina K., Sokhadze E., Shtark M. Self-Regulation Strategies and Heart Rate Biofeedback Training. *Appl. Psychophysiology Biofeedback*, 2020, vol. 45 (2), pp. 87–98. DOI: 10.1007/s10484-020-09460-5

5. Wagner D.D., Heatherton T.F. Emotion and Selfregulation Failure. *J.J. Gross (eds.) Handbook of Emotion Regulation*. 2nd ed. New York: Guilford Press, 2014, pp. 613–628.

6. Zimmerman B.J., Boekaerts M., Pintrich P.R., Zeidner M. Attaining Self-Regulation: a Social Cognitive Perspective. *Handbook of Self-Regulation*. San Diego, CA: Academic Press. 2000, pp. 13–39. DOI: 10.1016/B978-012109890-2/50031-7

Информация об авторах

Мажирина Ксения Геннадьевна, кандидат психологических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского института молекулярной биологии и биофизики, Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия.

Даниленко Елена Николаевна, научный сотрудник научно-исследовательского института молекулярной биологии и биофизики, Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия.

Джафарова Ольга Андреевна, руководитель лаборатории компьютерных систем биоуправления научно-исследовательского института молекулярной биологии и биофизики, Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия.

Назаров Кирилл Сергеевич, психолог отдела медико-психологического обеспечения спортивных сборных команд РФ, Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия.

Митин Игорь Николаевич, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник организационно-исследовательского отдела, руководитель лаборатории спортивной психофизиологии и медицинской психологии, Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия.

Information about the authors

Ksenia G. Mazhirina, Candidate of Psychological Sciences, Senior Researcher, Research Institute of Molecular Biology and Biophysics, Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russia.

Elena N. Danilenko, Researcher, Research Institute of Molecular Biology and Biophysics, Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russia.

Olga A. Dzhafarova, Head of the Laboratory of Computer Biofeedback Systems, Research Institute of Molecular Biology and Biophysics, Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russia.

Kirill S. Nazarov, Psychologist, Department of Medical and Psychological Support of National Teams, Federal Scientific and Clinical Center for Sports Medicine and Rehabilitation of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow, Russia.

Igor N. Mitin, Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher, Organizational and Research Department, Head of the Laboratory of Sports Psychophysiology and Medical Psychology, Federal Scientific and Clinical Center for Sports Medicine and Rehabilitation of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow, Russia.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.05.2023

The article was submitted 21.05.2023