

Мешков Н.А.¹, Рахманин Ю.А.²

Методологические аспекты гигиенической оценки адаптивной реакции организма на влияние факторов профессиональной деятельности в системе оценки риска

¹ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», 105275, Москва, Российская Федерация;²ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» ФМБА России, 119121, Москва, Российская Федерация

Введение. В статье представлены результаты исследований по изучению адаптивной реакции организма работающих в зависимости от характера профессиональной деятельности.

Цель исследования: выявление особенностей адаптивной реакции организма работающих в условиях воздействия вредных и опасных факторов.

Материалы и методы. Обследованы 225 человек, 157 из которых подвергались воздействию вредных и опасных факторов: участники ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, средний возраст $59,2 \pm 2,2$ года ($M \pm m$); военнослужащие, работающие с компонентами ракетных топлив, средний возраст $30,6 \pm 1,3$ года ($M \pm m$); военнослужащие, участвовавшие в боевых действиях, средний возраст $32 \pm 0,8$ года ($M \pm m$). Оценка функционального состояния кардиореспираторной системы, биологического возраста, вегетативного тонуса и адаптационных возможностей организма выполнена с использованием общепринятых методов.

Результаты. Установлены распределение по типу вегетативной реактивности, биологическому возрасту и уровню функциональных резервов (адаптационному потенциалу), а также взаимосвязь между этими показателями. У ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС связь адаптационного потенциала с типом вегетативной регуляции обратная средняя ($r = -0,308$; $p = 0,153$), а с биологическим возрастом — прямая средняя ($r = 0,690$; $p < 0,001$). У военнослужащих, работающих с ракетным топливом, связь адаптационного потенциала с типом вегетативной регуляции и биологическим возрастом соответственно прямая сильная ($r = 0,726$; $p = 0,001$) и прямая средняя ($r = 0,658$; $p < 0,004$). У участников боевых действий в первом случае связь обратная слабая ($r = -0,139$; $p = 0,155$), во втором — прямая средняя ($r = 0,683$; $p = 0,005$).

Заключение. Показатели биологического возраста и темпа старения, вегетативной регуляции и уровня адаптации могут быть использованы как критерии оценки риска для здоровья работающих в условиях воздействия вредных и опасных факторов и формирования групп лиц, нуждающихся в динамическом медицинском наблюдении.

Ключевые слова: профессиональная деятельность; кардиореспираторная система; функциональное состояние; биологический возраст; вегетативный тонус; адаптационный потенциал

Для цитирования: Мешков Н.А., Рахманин Ю.А. Методологические аспекты гигиенической оценки адаптивной реакции организма на влияние факторов профессиональной деятельности в системе оценки риска. *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (4): 387–395. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-4-387-395>

Для корреспонденции: Мешков Николай Алексеевич, доктор мед. наук, профессор, Заслуженный врач РФ, гл. науч. сотр. лаб. комплексных проблем оценки риска для здоровья населения и работающих ФГБНУ «НИИ МТ». E-mail: professor12@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Благодарность. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов: Мешков Н.А. — сбор и обработка материала, статистический анализ, написание текста, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Рахманин Ю.А. — редактирование, утверждение окончательного варианта статьи.

Поступила 22.09.2020 / Принята к печати 10.03.2021 / Опубликовано 18.05.2021

Nikolay A. Meshkov¹, Yuri A. Rakhmanin²

Methodology for environmental health assessment of adaptive response to professional activity factors as part of health risk assessment

¹Izmerov Research Institute of Occupational Health», Moscow, 105275, Russian Federation;²Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks, Moscow, 119121, Russian Federation

Introduction. The article presents the findings of a study of the adaptive responses of working people depending on their professional activity nature.

The purpose of the study is to evaluate the adaptive response of working people exposed to harmful and dangerous factors.

Material and methods. The research involved 225 people, including 157 cases exposed to different hazards and dangers: Chernobyl nuclear power plant disaster relief workers (their average age was 59.2 ± 2.2 years ($M \pm m$)); servicemen working with rocket fuels (their average age was 30.6 ± 1.3 years ($M \pm m$)); and service members participated in combat operations (their average age was 32.0 ± 0.8 years ($M \pm m$)). A set of standard methods was used to assess their cardiorespiratory system's functional state, biological age, activity levels in different organs, and adaptive abilities.

Results. The study has made it possible to describe distribution in terms of ANS response, biological age, adaptive potential, and their correlation. The relief workers showed a medium inverse correlation between adaptive potential and ANS response type ($r = -0.308$; $p = 0.153$) and a significant medium positive correlation between adaptive potential and biological age ($r = 0.690$; $p < 0.001$). The servicemen working with rocket fuels showed a high medium positive correlation ($r = 0.726$; $p = 0.001$) and a significant medium positive correlation ($r = 0.658$; $p < 0.004$) between adaptive potential and ANS response type and biological age, respectively. The servicemen who had participated in combat operations showed weak inverse correlation ($r = -0.139$; $p = 0.155$) and medium positive correlation ($r = 0.683$; $p = 0.005$) in the first and second case, respectively.

Conclusion. The biological age, individual aging rate, ANS response, and potential adaptive performance can be used as criteria for assessing health risks for working people exposed to different hazards and dangers and determining groups of people who need case follow-up.

Keywords: professional activity; cardiorespiratory system; functional state; biological age; activity levels in different organs; adaptive potential

For citation: Meshkov N.A., Rakhmanin Yu.A. Methodology for environmental health assessment of adaptive response to professional activity factors as part of health risk assessment. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2021; 100 (4): 387–395. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-4-387-395> (In Russ.)

For correspondence: Nikolay A. Meshkov, MD, Ph.D., Prof., DSci., Honored Doctor of the Russian Federation, Chief Scientist of the Laboratory of Complex Problems of Risk Assessment for Public and Workers Health of the Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, 105275, Russian Federation. E-mail: professor12@yandex.ru

Yuri A. Rakhmanin, MD, Ph.D., DSci., Prof., Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Chief scientific adviser of the Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: info@sysin.ru

Information about authors:

Meshkov N.A., <https://orcid.org/0000-0001-6139-5833>; Rakhmanin Yu.A., <https://orcid.org/0000-0003-2067-8014>

Conflict of interest. The authors declare no conflict or interest.

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Contribution of the authors: Meshkov N.A. — the collection and processing of the material, statistical analysis, writing the text, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; Rakhmanin Yu.A. — editing, approval of the final version of the article.

Received: September 22, 2021 / Accepted: March 10, 2021 / Published: May 18, 2021

Введение

Профилактическое направление государственной системы здравоохранения в нашей стране является наиболее важным в оздоровлении населения и окружающей среды, его приоритет закреплён Федеральным законом от 22 июля 1999 г. № 5487-1 «Основы законодательства Российской Федерации об охране здоровья граждан». По данным ВОЗ, отсутствие медицинского контроля за динамикой состояния здоровья и низкий уровень первичной профилактики составляют 10–15% их долевого вклада среди факторов, влияющих на здоровье. Особенно актуальна проблема раннего выявления изменений в состоянии здоровья лиц, профессиональная деятельность которых связана с воздействием вредных и опасных факторов.

Многочисленными исследованиями установлена связь адаптационного состояния с влиянием факторов окружающей среды и доказано [1–3], что интегральным показателем является реакция организма на их воздействие, проявляющаяся изменениями, снижающими адаптационные возможности [4–6]. Известно, что исходно высокий уровень напряжения адаптационных механизмов, обуславливая резистентность к утомлению, в итоге приводит к истощению функциональных резервов и снижению компенсаторно-приспособительных возможностей организма, что требует дифференцированного подхода при планировании и осуществлении профилактических и оздоровительных мероприятий.

В связи с этим важную роль в системе медицинского контроля за состоянием здоровья работающих в условиях воздействия вредных и опасных факторов приобретает прогнозирование функционального статуса и адаптационных возможностей организма на основе концепции «адаптационных рисков» Р.М. Баевского [2].

Цель исследования — выявление особенностей адаптивной реакции организма работающих в условиях воздействия вредных и опасных факторов.

Материалы и методы

Проведена оценка функционального состояния и адаптационных возможностей организма участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС (ЛПА) и военнослужащих, подвергавшихся воздействию вредных и опасных факторов. В исследовании использованы данные обследований ЛПА в 2011 г., военнослужащих базы хранения компонентов ракетных топлив (КРТ) в 2002 и военнослужащих, принимавших участие в боевых действиях (ВУБД) на Северном Кавказе, в том числе подразделений специального назначения (ВУБДСн) в 2001 гг. Количество обследованных по категориям представлено в табл. 1.

Всего обследованы 226 человек, 159 из них подвергались воздействию факторов, связанных с профессиональной деятельностью. Средний возраст обследованных в основных группах сопоставим с аналогичным показателем в группах сравнения ($p > 0,05$).

Таблица 1 / Table 1

Количественные и возрастные характеристики обследованных

Quantitative characteristics and age profile of the examined groups

Категории обследованных Categories of examined persons	Группа обследованных Examined groups			
	основная main group		сравнения reference group	
	<i>n</i>	возраст, $M \pm m$ Age, Mean $\pm$ SEM	<i>n</i>	возраст, $M \pm m$ Age, Mean $\pm$ SEM
Участники ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС (ЛПА) Chernobyl nuclear power plant disaster relief workers ("liquidators" of the Chernobyl accident — LChA)	26	59.2 $\pm$ 2.2	16 ¹	60.6 $\pm$ 3.4
Военнослужащие, профессионально связанные с компонентами ракетных топлив (КРТ) Servicemen working with rocket fuels (RF)	23	30.6 $\pm$ 1.3	17 ²	29.6 $\pm$ 2.4
Население Population	—	—	10 ³	35.5 $\pm$ 4.4
Военнослужащие, принимавшие участие в боевых действиях (ВУБД и ВУБДСн) Servicemen participated in combat operations (PCO and PCOs)	110	32.0 $\pm$ 0.8	24 ⁴	30.5 $\pm$ 2.3

Примечание. ¹ — Мужчины из населения, не подвергавшиеся радиационному воздействию; ² — военнослужащие, не связанные с КРТ; ³ — мужчины из населения; ⁴ — военнослужащие, не принимавшие участие в боевых действиях (ВМО).

Note: ¹ — menfolk without exposure to radiation; ² — servicemen not working with rocket fuels (NRF); ³ — menfolk; ⁴ — servicemen who hadn't participated in combat operations (NPCO).

Таблица 2 / Table 2

Методики оценки функционального состояния и адаптационных возможностей организма**Methods used to assess the functional state and adaptive abilities of organism**

Методика Method	Назначение Method purpose
Показатели гемодинамики Hemodynamics indices	Измерение систолического и диастолического артериального давления (АДС, АДД), частоты сердечных сокращений (ЧСС) Measurement of systolic and diastolic blood pressure (SBP, DBP), heart rate (HR)
Вегетативный индекс Кердо (ВИК) Kerdo vegetative index (KVI)	Оценка функционального состояния вегетативной нервной системы (ВНС) по соотношению возбудимости симпатического и парасимпатического отделов Evaluation of the functional state of the Autonomic Nervous System (ANS) by the ratio between the sympathetic and parasympathetic divisions excitability
Индекс Хильдебрандта (ИХ) Hildebrandt index (HI)	Оценка сбалансированности межсистемных взаимодействий в кардиореспираторной системе Evaluation of the intersystem interactions balance in the cardiorespiratory system
Адаптационный потенциал (АП) или индекс функциональных изменений (ИФИ) [1, 2] Adaptive potential (AP), or index of functional changes (IFC) [1, 2]	Оценка уровня функционирования системы кровообращения и определения её адаптационного потенциала Evaluation of the functioning level of the cardiovascular system and determination of its adaptive potential
Вариабельность сердечного ритма (ВСР) [7] Heart rate variability (HRV) [7]	Оценка состояния общей активности регуляторных механизмов, соотношения между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы Assessment of the total activity of the regulatory mechanisms and the ratio between the sympathetic and parasympathetic NS divisions
Жизненный индекс Котельмана и Мак-Дональда (ЖИ) [8] Kotelman-Mac Donald Vital Index (VI) [8]	Соотношение жизненной ёмкости лёгких к массе тела The ratio of vital capacity to body mass
Спирометрия Spirometry	Жизненная ёмкость лёгких (ЖЕЛ) Vital capacity (VC)
Пробы с задержкой дыхания на вдохе (проба Штанге) и на выдохе (проба Генчи) Inspiratory breath holding time test (Shtange test) and exhalation breath holding time test (Genchi test)	Оценка резервных возможностей кардиореспираторной системы Assessment of the reserve capacities of the cardiorespiratory system
Биологический (функциональный) возраст (БВ) [9] Biological (functional) age (BA) [9]	Оценка индивидуальных темпов развития (старения) и адаптационных возможностей организма Evaluation of individual rates of development (aging) and organism's adaptive abilities

Для оценки адаптивной реакции организма на воздействие факторов риска окружающей среды использовался комплекс методов, некоторые из них представлены в табл. 2.

Эффективность адаптации к условиям профессиональной деятельности оценивалась по величине биологического (функционального) возраста (БВ) и темпу старения (ТС), который определялся как разность между БВ и должным биологическим возрастом (ДБВ): $БВ - ДБВ < 0$ — замедленный темп старения (ТС—), $БВ - ДБВ > 0$ — ускоренный (ТС+). Интерпретация ТС выполнена с применением шкалы функциональных классов [10].

Проверка данных на нормальность выполнена с применением критерия Шапиро–Уилка *W*. При нормальном распределении данных рассчитывались средняя арифметическая (*M*), ошибка средней арифметической (*m*) и стандартное отклонение (*SD*), при распределении, отличном от нормального, — медиана (*Me*) и процентиля ($P_{25}-P_{75}$), а также удельный вес (доли) вариантов распределения показателей обследованных при сравнении с нормой. Обработка данных проводилась с помощью ППП Statistica 10.0. Для сравнения средних показателей 2 групп использовался *U*-критерий Манна–Уитни, а более 2 — *H*-критерий Краскела–Уоллиса, для сравнения долей — критерий χ^2 Пирсона. Для оценки тесноты связи использовался коэффициент Пирсона, при отличии распределения данных от нормального — коэффициент корреляции Спирмена. Критический уровень значимости (*p*) в исследовании принимался равным 0,05.

Результаты

Функциональное состояние и адаптационные возможности организма участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС оценивали в сравнении с группой мужчин из населения, не подвергавшегося радиационно-

му воздействию. Средние значения отдельных показателей представлены в табл. 3.

При сравнении показателей, представленных в табл. 3, статистически значимые различия выявлены только между средними величинами АДД ($p = 0,013$).

Согласно классификации ВОЗ, средние величины АДС и АДД у ЛПА соответствуют категории «умеренная гипертония», в группе сравнения — АДС «высокое нормальное», а АДД — «нормальное». Распределение обследованных в группах по категориям ВОЗ показало, что среди ЛПА в 2 ($p = 0,226$) раза больше доля обследованных с АДС, соответствующим умеренной гипертонии, а среди необлучённых мужчин в 3,8 раза больше лиц с высоким нормальным АДС ($p = 0,06$). В группе ЛПА доли с АДД, соответствующим умеренной гипертонии и гипертонии средней тяжести, в 1,6 ($p = 0,517$) и 2,3 ($p = 0,233$) раза выше, чем в группе сравнения. Уровни значимости различий больше критического уровня статистической значимости (0,05).

Средние величины ЧСС у ЛПА и в группе сравнения выше возрастной нормы ($p < 0,001$). Распределение по отношению к возрастной норме показало, что доля ЛПА с нормальной ЧСС в 2 раза меньше, чем в группе сравнения, а с ЧСС выше нормы — в 1,3 раза больше, но уровень значимости этих различий выше критического ($p = 0,05$).

Средние величины ЖЕЛ в обеих группах соответствуют норме. Вместе с тем доля ЛПА с таким ЖЕЛ в 1,5 раза больше, чем в группе сравнения, а ниже нормы — почти в 2 раза меньше. Выявленные различия недостоверны ($p = 0,233$).

Среднее значение ИХ у ЛПА в 1,6 раза выше показателя в группе сравнения ($p = 0,003$). В группе ЛПА выявлен вегетативный дисбаланс в сторону активации симпатического отдела ВНС, свидетельствующий о дискоординации вегетативного обеспечения респираторной и кардиальной систем. В группе сравнения ИХ соответствует норме — 2,8–4,9.

Таблица 3 / Table 3

Средние значения показателей функционального адаптационного состояния организма участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, $M \pm SD$

The values of organism functional state parameters and adaptive abilities indices of chernobyl nuclear power plant disaster relief workers ($Mean \pm SD$)

Показатель Indices	Группа обследованных Examined persons groups		p (U-критерий Манна–Уитни) p -value (U-criterion, Mann-Whitney's test)
	основная main group	сравнения reference group	
АДС, мм рт. ст. SBP (mm Hg)	142.6 $\pm$ 24.9	138.5 $\pm$ 21.5	0.691
АДД, мм рт. ст. DBP (mm Hg)	91.3 $\pm$ 14.3	80.0* (77.0–82.0)	0.013
ЧСС, уд. в 1 мин HR (bpm)	82.5 $\pm$ 15.6	77.2 $\pm$ 11.2	0.305
ЖЕЛ, л VC (l)	4.0 $\pm$ 1.0	3.6 $\pm$ 0.9	0.209
ИХ, отн. ед. HI (arb. unit)	6.9 $\pm$ 2.7	4.4 $\pm$ 1.3	0.003
ЖИ, мл/кг VI (ml/kg)	48.0* (40.4–55.8)	50.5 $\pm$ 15.4	0.843
БВ, лет BA (yrs)	57.5 $\pm$ 5.5	58.9 $\pm$ 6.1	0.603
ТС+, лет Aging rate – AR+ (yrs)	8.9 $\pm$ 4.4	9.1 $\pm$ 8.7	0.662
ТС–, лет years Aging rate – RA- (yr)	7.8 $\pm$ 6.0	8.5 $\pm$ 6.4	0.594
ИФИ, усл. ед. IFC, conv. units	3.6 $\pm$ 0.8	3.1 $\pm$ 0.6	0.171

Примечание. Здесь и в табл. 4, 5: * – Me (P25–P75) распределение данных отличается от нормального.

Note. Here and in tabl 4, 5: * – Me (P25–P75) the distribution of variables is different from the normal distribution.

Средние величины ЖИ в обеих группах ниже нормы – соответственно в 1,5 ($p < 0,001$) и в 1,6 ($p = 0,001$) раза. Доли ЛПА и мужчин из группы сравнения с низким ЖИ меньше доли с нормальной ЖИ – соответственно в 11 и 3,3 раза.

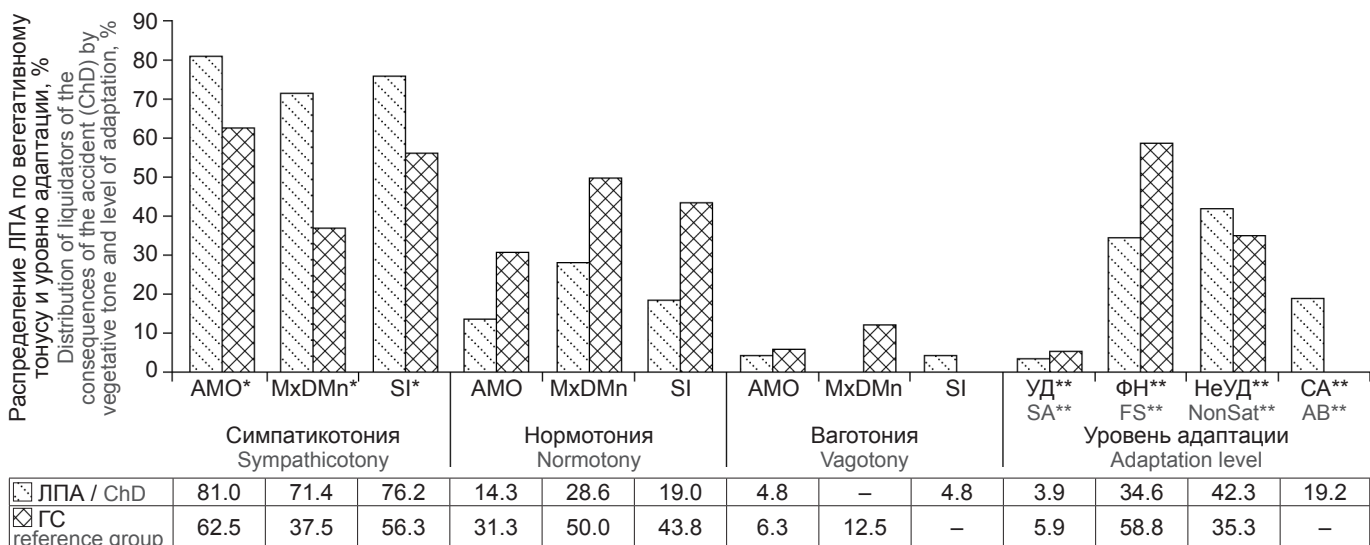
Не выявлено статистически значимых различий между средними величинами БВ ($p = 0,603$), ТС+ ($p = 0,662$) и ТС– ($p = 0,594$). Распределение по функциональным классам [10] показало, что количество ЛПА с замедленным ТС в 1,5 раза превышает количество с таким ТС в группе сравнения, а с ускоренным ТС – в 1,3 раза. При сопоставлении этих характеристик по степени напряжения регуляторных систем установлено, что доли ЛПА и необлученных мужчин с удовлетворительной адаптацией составили соответственно 34,8 и 41,2%, а со срывом адаптации – 39,1 и 29,4%. Уровни значимости выявленных различий выше критического (0,05).

Средние величины ИФИ в обеих группах свидетельствуют о сниженных функциональных резервах – адаптация неудовлетворительная.

Распределение ЛПА и обследованных в группе сравнения (ГС) по типу вегетативного тонуса и уровню функциональных резервов (адаптационному потенциалу) представлено на рис. 1.

На рис. 1 показано, что у ЛПА на Чернобыльской АЭС дисбаланс вегетативного тонуса характеризуется гиперактивностью симпатического отдела ВНС, тогда как в группе сравнения преобладают мужчины с нормотонией ($p = 0,019$). Методом ВСП установлено, что доля ЛПА с симпатикотонией (центральный тип регуляции) больше, чем в контроле по амплитуде моды (АМО), в 1,3 раза, по вариационному размаху (МхДМн) и индексу напряжения (СИ) – соответственно в 1,9 и 1,4 раза, но достоверны различия только по МхДМн ($p = 0,04$). Такое состояние вегетативного тонуса ведёт к перенапряжению регуляторных механизмов и истощению функциональных резервов организма.

Анализ распределения ЛПА на ЧАЭС по адаптационному потенциалу показал, что доля с удовлетворительной адаптацией и состоянием функционального напряжения среди них меньше, чем в контроле, соответственно в 1,5 и 1,7 раза, а с неудовлетворительной адаптацией и срывом адаптации – в 2,7 больше ($p = 0,093$). Выявленные различия статистически незначимы.



* Показатели ВСП: АМО – амплитуда моды; МхДМн – вариационный размах; СИ – индекс напряжения.

** Уровень адаптации: УД – удовлетворительная адаптация; ФН – состояние функционального напряжения; НеУД – неудовлетворительная адаптация; СА – срыв адаптации.

* HRV Indices: АМО – amplitude of the mode; МхДМн – variation range; СИ – stress index.

** Adaptation level: SA – satisfactory adaptation; FS – the state of functional stress; NonSat – unsatisfactory adaptation; AB – adaptation breakdown.

Рис. 1. Распределение участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС (ЛПА) и группы сравнения (ГС) по вегетативному тону и адаптационному потенциалу, %.

Fig. 1. Chernobyl nuclear power plant disaster relief workers distribution by response type of Autonomic Nervous System and in adaptive potential level («liquidators» of the Chernobyl disaster – LChD) and reference group (RG).

Таблица 4 / Table 4

Средние значения показателей функционального и адаптационного состояния организма военнослужащих, работающих с компонентами ракетных топлив, $M \pm SD$

The values of organism functional state parameters and adaptive abilities indices of servicemen working with rocket fuels ($Mean \pm SD$)

Показатель Indices		Группа обследованных Examined persons groups			p (H -критерий Краскела—Уоллиса) p -value (H -criterion, Kruskal-Wallis test)
		военнослужащие servicemen		население population	
		основная main group	сравнения reference group		
АДС, мм рт. ст.	SBP (mm Hg)	124.8 ± 16.6	116.0* (110.0—120.0)	130.6 ± 29.7	0.449
АДД, мм рт. ст.	DBP (mm Hg)	77.6 ± 11.3	70.0* (65.0—77.0)*	75.0* (74.0—88.0)	0.091
ЧСС, уд. в 1 мин	HR (bpm)	69.2 ± 9.8	62.0* (59.0—73.0)	71.4 ± 12.1	0.490
Штанге, с	Shtange test (seconds)	44.0* (34.0—50.0)*	45.2 ± 8.4	40.0 ± 7.4	0.258
Генчи, с	Genchi test (seconds)	19.8 ± 4.9	27.0* (21.0—32.0)	20.0* (18.0—25.0)	0.010
ЖЕЛ, л	VC (L)	4.3 ± 0.7	3.9 ± 0.8	3.8 ± 0.7	0.190
ИХ, отн. ед.	HI (rel. units)	4.0 ± 0.6	3.7* (3.2—5.2)	4.1 ± 1.0	0.934
ЖИ, мл/кг	VI, ml/kg	54.9 ± 11.3	52.4 ± 11.6	55.1 ± 13.6	0.811
БВ, усл. лет	BA (conv. yrs)	49.7 ± 5.0	46.9* (43.8—48.0)	60.2 ± 7.0	< 0.001
ТС+, усл. лет	RA+ (conv. yrs)	11.9 ± 6.3	12.9 ± 4.7	17.8 ± 6.2	0.086
ИФИ, усл. ед.	IFC, conv units	2.4 ± 0.4	2.1* (1.9—2.2)	2.6 ± 0.8	0.075

У ЛПА выявлена обратная средняя связь между типом вегетативного обеспечения деятельности кардиореспираторной системы и адаптационным потенциалом – соответственно $r = -0,308$ ($p = 0,173$), в группе сравнения связь не обнаружена ($r = 0,007$; $p = 0,978$). Между БВ и адаптационным потенциалом в обеих группах установлена прямая средняя связь – $r = 0,690$ ($p < 0,001$) и $r = 0,530$ ($p = 0,029$).

Результаты оценки функционального и адаптационного состояния организма военнослужащих, профессионально связанных с КРТ (основная группа), военнослужащих других военно-учётных специальностей (группа сравнения) и мужчин из местного населения представлены в табл. 4.

Различия между средними значениями АДС, АДД, ЧСС, пробы Штанге и ИФИ во всех группах статистически незначимы ($p > 0,05$).

Средние значения АДС и АДД у военнослужащих в обеих группах соответствуют норме по классификации ВОЗ, у мужчин из населения АДС высокое нормальное, а АДД – нормальное. Установлено, что в основной группе удельный вес военнослужащих с оптимальным и нормальным АДС в 1,6 и 1,8 раза меньше, чем соответственно в группе сравнения. Доли военнослужащих из основной группы с высоким нормальным АДС и умеренной гипертензией соответственно в 2,2 ($p = 0,482$) и в 5,6 ($p = 0,053$) раза больше, чем в группе сравнения, а с высоким нормальным АДД и умеренной гипертензией – в 2,2 и в 3,4. Уровни значимости выявленных различий выше критического уровня (0,05).

Средние величины ЧСС в основной группе и в группе сравнения сопоставимы с возрастной нормой для военнослужащих этих групп, а в группе из местного населения – несколько выше ($p = 0,081$).

Распределение показало, что в основной группе доля военнослужащих с нормальной ЧСС меньше, чем в группе сравнения и у населения, но эти различия не достоверны – соответственно $p = 0,274$ и $p > 0,05$. Доля с ЧСС выше нормы среди военнослужащих, работающих с КРТ, почти в 2 раза превышает аналогичную долю в группе сравнения ($p = 0,059$) и сопоставима с долей среди населения. Доля с ЧСС ниже нормы в основной группе сопоставима с такой же долей среди местного населения и в 2 раза меньше, чем в группе сравнения, но это различие статистически незначимо.

По критерию Краскела–Уоллиса между группами выявлены различия по средним значениям пробы Генчи

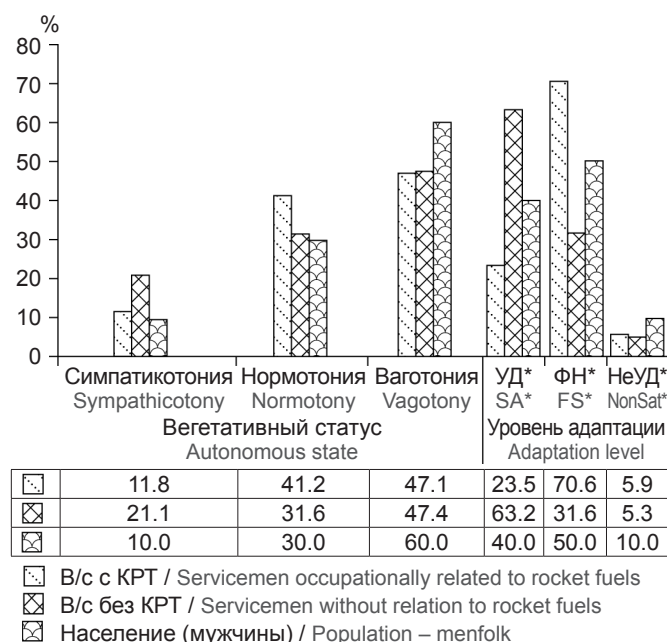
($p = 0,001$), но между какими именно группами найдены различия, неизвестно, поэтому были использованы апостериорные попарные сравнения с помощью критерия Манна–Уитни, которые показали, что значение пробы Генчи в основной группе достоверно меньше, чем в группе сравнения ($p = 0,001$), а различие с мужчинами из населения статистически незначимо ($p = 0,407$). ЖЕЛ в обеих группах военнослужащих выше аналогичных величин у мужчин из населения, но эти различия недостоверны. Величины пробы Штанге и Генчи, свидетельствующие о достаточных резервных возможностях кардиореспираторной системы, выявлены соответственно у 70,6 и 52,9% военнослужащих в основной группе и у 73,7 и 21,1% – в группе сравнения. Среди местных мужчин эти доли составили соответственно 60 и 40%. Распределение обследованных по величине ЖЕЛ, соответствующей норме, в группах составили соответственно 88,2; 84,2 и 60%.

Средние значения ИХ в группах соответствуют норме, статистически значимых различий между ними не выявлено ($p = 0,934$). В основной группе преобладают военнослужащие с нормальным типом вегетативной регуляции деятельности кардиореспираторной системы ($p = 0,026$), а в группе сравнения – с симпатикотонией.

Средняя величина ЖИ по критерию Краскела–Уоллиса сопоставима во всех группах ($p = 0,811$), сравнение этого показателя с нормой свидетельствует о нарушении компенсаторно-приспособительных реакций. Доля военнослужащих с нормальным ЖИ в основной группе составляет 23,5%, что в 1,5 раза превышает аналогичную долю в группе сравнения и в 1,3 раза меньше, чем среди мужчин из населения. Выявленные различия статистически незначимы.

По критерию Краскела–Уоллиса в сравниваемых группах выявлены достоверные различия между величинами БВ. С помощью апостериорных попарных сравнений с использованием критерия Манна–Уитни установлено, что БВ в основной группе значимо меньше, чем у мужчин из населения ($p < 0,001$). Установлено также, что ИФИ у военнослужащих, работающих с КРТ, достоверно выше, чем в группе сравнения ($p = 0,023$).

У всех обследованных выявлен ускоренный темп старения. По критерию Краскела–Уоллиса различия между группами по ТС+ близки к критическому уровню ($p = 0,086$). При апостериорном попарном сравнении с использованием



* Уровень адаптации: УД – удовлетворительная адаптация; ФН – состояние функционального напряжения; НеУД – неудовлетворительная адаптация; СА – срыв адаптации.

* Adaptation level: SA – satisfactory adaptation; FS – the state of functional stress; NonSat – unsatisfactory adaptation; AB – adaptation breakdown.

Рис. 2. Распределение обследованных по типу вегетативного тонуса и уровню адаптационного потенциала, %.

Fig. 2. Case distribution by autonomous tonus type and adaptive potential level.

критерия Манна–Уитни установлено, что аналогичное по уровню значимости различие по этому показателю обнаружено между основной группой и мужчинами из населения – $p = 0,067$. Распределение на функциональные классы по ТС показало, что в основной группе военнослужащие с БВ, соответствующим календарному, составляют 5,9%, с ускоренным и резко ускоренным ТС – соответственно 29,4 и 64,7%, в группе сравнения эти доли составили 10,5 и 89,5%. Таким образом, доля военнослужащих с состоянием неудовлетворительной адаптации в основной группе почти в 3 раза больше, чем в группе сравнения, а со срывом адаптации – в 1,4 раза меньше.

Распределение обследованных по типу вегетативного тонуса и уровню адаптационного потенциала представлено на рис. 2.

Как показано на рис. 2, доля лиц с нормотонией среди военнослужащих, работающих с КРТ, на 9,6 и на 11,2% больше, чем соответственно в группе сравнения и среди мужчин из населения. Доля военнослужащих с ваготонией среди работающих с КРТ сопоставима с таковой в группе сравнения и на 12,9% меньше по сравнению с мужчинами из населения. Уровни значимости выявленных различий больше критического уровня (0,05).

Выявлены различия по уровню адаптационного потенциала: в основной группе преобладают военнослужащие с состоянием функционального напряжения ($p = 0,02$), а в группе сравнения – с удовлетворительной адаптацией ($p = 0,017$).

У военнослужащих, работающих с КРТ, между вегетативным тонусом и адаптационным потенциалом установлена прямая сильная связь ($r = 0,726$; $p < 0,001$), в группе сравнения эта связь прямая слабая $r = 0,14$ и статистически незначимая, а у мужчин из населения обратная слабая $r = -0,123$ и также недостоверная. Связь между БВ и адаптационным потенциалом в основной группе прямая средняя ($r = 0,658$; $p < 0,004$), в группах сравнения и у мужчин из населения эти связи (коэффициент корреляции Спирмена) также прямые – соответственно слабая ($r = 0,046$; $p = 0,853$) и средняя ($r = 0,624$; $p = 0,054$).

Выбор методов оценки функционального и адаптационного состояния организма военнослужащих – участников боевых действий (ВУБД), в том числе подразделений специального назначения (ВУБДсн), – основная группа, и военнослужащих (ВМО), не принимавших непосредственного участия в боевых действиях (группа сравнения), был ограничен условиями проведения обследования (табл. 5).

При сравнении трёх групп по показателям АДС с помощью критерия Краскела–Уоллиса выявлены достоверные различия ($p = 0,001$). Апостериорные попарные сравнения средних величин АДС с использованием критерия Манна–Уитни статистически значимые различия обнаружены между группами ВУБДсн и ВМО ($p = 0,003$), а также ВУБД и ВМО ($p = 0,002$).

Сравнительный анализ средних величин АДС в основной группе (ВУБДсн и ВУБД) и в группе сравнения (ВМО) показал, что в основной группе этот показатель достоверно ниже ($p = 0,001$), различия между средними величинами АД близки к критическому уровню значимости – $p = 0,053$.

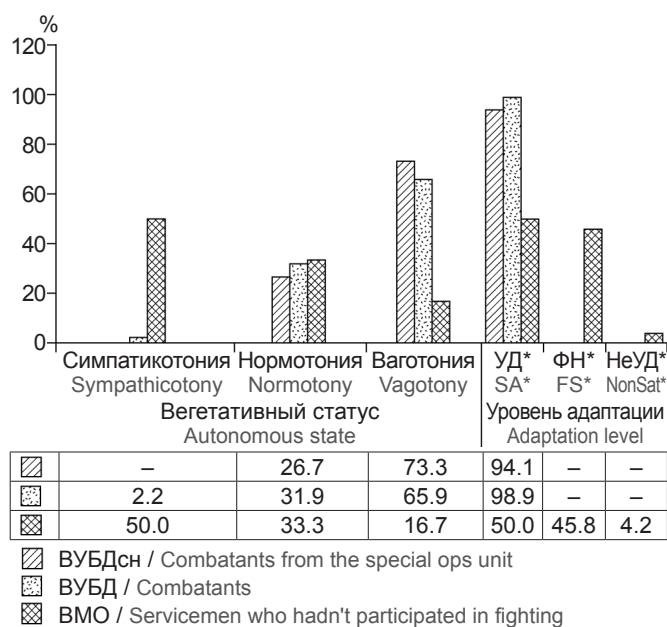
Согласно классификации ВОЗ, средние величины АДС в основной группе соответствуют оптимальному давлению,

Таблица 5 / Table 5

Средние значения показателей функционального и адаптационного состояния организма военнослужащих – участников боевых действий, $M \pm SD$

The values of organism functional state parameters and adaptive abilities indices of servicemen who had participated in combat operations ($Mean \pm SD$)

Показатель Indices		Группы обследованных Groups of examined persons			p (H -критерий Краскела–Уоллиса) p -value (H -criterion, Kruskal–Wallis test)
		ВУБДсн PCOs ^f	ВУБД PCO	ВМО (группа сравнения) NPCO (reference group)	
АДС, мм рт. ст.	SBP (mm Hg)	115.0* (110.0–120.0)	120.0* (110.0–120.0)	124.9 $\pm$ 10.5	0.001
АДД, мм рт. ст.	DBP (mm Hg)	72.5 $\pm$ 6.5	75.0* (70.0–80.0)	78.1 $\pm$ 10.2	0.146
ЧСС, уд. в 1 мин	HR (bpm)	64.5 $\pm$ 6.1	65.0* (60.0–71.0)	70.3 $\pm$ 8.8	0.028
ИХ, отн. ед.	IH, rel. unit	3.7 $\pm$ 0.6	3.6* (3.2–4.1)	3.9 $\pm$ 0.8	0.551
БВ, усл. лет	BA, conv. yrs	27.3 $\pm$ 7.1	25.0 $\pm$ 8.9	47.5* (46.2–58.2)	< 0.001
ТС+, усл. лет	RA+, conv. yrs	3.8 $\pm$ 1.5	7.5 $\pm$ 4.5	13.1 $\pm$ 4.5	0.003
ТС–, усл. лет	RA–, conv. yrs	–9.7* (–11.9; –7.9)	–14.4* (–20.3; –7.4)	–	–



* Уровень адаптации: УД – удовлетворительная адаптация; ФН – состояние функционального напряжения; НеУД – неудовлетворительная адаптация; СА – срыв адаптации.

* Adaptation level: SA – satisfactory adaptation; FS – the state of functional stress; NonSat – unsatisfactory adaptation; AB – adaptation breakdown.

Рис. 3. Распределение военнослужащих, принимавших участие в боевых действиях (ВУБД и ВУБДсн) и не участвовавших в боевых действиях (ВМО), по типу вегетативного тонуса и уровню адаптационного потенциала, %.

Fig. 3. Distribution of combatants and those from the special ops unit (CSU), and those who hadn't participated in fighting (Not combatant (NC)) by the response type of Autonomic Nervous System and adaptive potential level.

а в группе сравнения – нормальному. У всех обследованных уровень АДД оптимальный. При распределении по критериям ВОЗ установлено, что среди ВУБДсн удельный вес военнослужащих с оптимальным АДС в 3,6 ($p < 0,05$) меньше, чем в группе ВМО. Доли обследованных с оптимальным АДД в группах ВУБДсн и ВУБД сопоставимы, а по сравнению с ВМО выше соответственно в 1,7 ($p = 0,035$) и 1,5 ($p = 0,028$) раза. Различий между количеством военнослужащих с нормальным АДД в группах ВУБД и ВМО не выявлено, тогда как доля с умеренной гипертонией в 3,9 ($p < 0,05$) раза больше среди ВМО.

Между средними величинами ЧСС в сравниваемых группах по критерию Краскела–Уоллиса выявлены статистически значимые различия ($p = 0,028$). Парные апостериорные сравнения при помощи критерия Манна–Уитни обнаружили достоверные различия по этому показателю с группой ВМО у ВУБДсн и ВУБД – соответственно $p = 0,019$ и $p = 0,013$.

Различий между возрастной нормой ЧСС и средними величинами в основной группе и в группе сравнения не выявлено. Доли ВУБДсн с ЧСС ниже нормы в 3,9 ($p = 0,023$) раза выше аналогичной величины среди ВМО, а с ЧСС выше нормы – соответственно в 3,3 ($p = 0,044$) меньше.

Среднее значение ИХ сопоставимо во всех группах и соответствует норме. Доля ВУБДсн с ваготонией в 5,2 ($p = 0,094$) раза больше, чем в группе сравнения.

С помощью критерия Краскела–Уоллиса статистически значимые различия между группами установлены по величине БВ ($p < 0,001$). Апостериорное попарное сравнение с использованием критерия Манна–Уитни выявило достоверные различия с группой сравнения у ВУБДсн и ВУБД ($p < 0,001$).

Статистически значимые различия между группами по критерию Краскела–Уоллиса по ускоренному темпу старе-

ния (ТС+) не установлены ($p = 0,156$). Однако апостериорные сравнения с помощью критерия Манна–Уитни обнаружили, что средний ТС+ в группах ВУБДсн и ВУБД больше, чем в группе сравнения, соответственно в 3,4 ($p = 0,009$) и 1,7 ($p = 0,024$) раза. Замедленный темп старения (ТС–) у ВУБД в 1,5 раза выше аналогичного показателя у ВУБДсн ($p = 0,052$). У 90% военнослужащих – участников боевых действий выявлен резко замедленный и замедленный темп старения, а ускоренный и резко ускоренный – лишь у 7,3% соответственно. У военнослужащих в группе сравнения выявлен только ускоренный и резко ускоренный темп старения – 8,3 и 91,7%. Среди ВУБДсн доля с резко замедленным темпом старения (удовлетворительная адаптация) в 1,6 раза меньше, чем среди ВУБД ($p = 0,07$), а с замедленным (норма или удовлетворительная адаптация) – в 1,5 раза больше, но это различие статистически незначимо ($p = 0,233$).

Распределение военнослужащих по типу вегетативного тонуса и уровню адаптационного потенциала представлено на рис. 3.

На рис. 3 видно, что среди ВУБДсн и ВУБД доли военнослужащих с повышенной активностью парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (автономный тип регуляции) – соответственно в 4,4 и в 4 раза ($p < 0,05$) больше, чем среди не участвовавших в боевых действиях, у которых доля военнослужащих с повышенной активностью симпатического отдела (центральный тип регуляции) почти в 23 раза выше, чем среди ВУБД ($p < 0,05$).

У ВУБДсн и ВУБД выявлена прямая средняя связь между вегетативным тонусом и адаптационным потенциалом – соответственно $r = 0,683$ ($p = 0,005$) и коэффициент корреляции Спирмена $r = 0,674$ ($p = 0,002$). У ВМО эта связь фактически отсутствует ($r = 0,052$; $p = 0,809$). Связь между БВ и адаптационным потенциалом у ВУБДсн, ВУБД и ВМО обратная слабая – соответственно ($r = -0,179$; $p = 0,521$), ($r = -0,154$; $p = 0,145$) и коэффициент корреляции Спирмена $r = -0,207$ ($p = 0,362$).

Обсуждение

Функциональное состояние человека определяется его индивидуальной способностью реагировать на факторы риска окружающей его среды, влияние может быть особенно сильным при работе в условиях воздействия вредных и опасных факторов технологического процесса, а также в случае техногенных аварий и военных конфликтов. Все обследованные подвергались воздействию вредных и опасных факторов, характер и природа которых имели существенные различия.

Участники ликвидации последствий аварии на ЧАЭС при выполнении аварийно-восстановительных работ подвергались воздействию радиационного и психоэмоционального факторов. Военнослужащие при работе с КРТ находились в средствах индивидуальной защиты органов дыхания и кожи. Участники боевых действий выполняли задачи в условиях воздействия комплекса экстремальных факторов, испытывая продолжительные психоэмоциональные и физические нагрузки.

Различия факторов риска определяет необходимость использования для оценки изменений функционального состояния организма человека интегральных показателей [1–3], таких как биологический возраст и темп старения, тип вегетативной регуляции и индекс функциональных изменений, количественно характеризующих функциональные возможности организма и эффективность адаптации к условиям профессиональной деятельности [4–6].

Биологический возраст (БВ) как критерий оценки состояния здоровья привлекал внимание начиная с 1-й половины прошлого века, главным образом из-за возможности его количественного измерения. Методы его определения предлагались учёными разных стран, считавших, что БВ позволяет объективно оценивать состояние здоровья человека [11]. Обоснованность использования биологического

возраста для оценки функционального состояния организма рабочих в процессе профессиональной деятельности подтверждена в работах [5, 12, 13].

Оценка влияния факторов риска на адаптационные возможности организма осуществляется путём сравнения среднего биологического возраста в группе подвергшихся воздействию и в контрольной группе [8].

Достоверных различий между средними величинами БВ у ЛПА и у необлучённых мужчин не выявлено, но при распределении по функциональным классам [10] установлено, что у 56,5% ЛПА темп старения ускоренный и резко ускоренный, сопровождающийся снижением адаптационных возможностей организма. Среди необлучённых мужчин таких лиц в 1,3 раза меньше. Между БВ и адаптационным потенциалом у ЛПА и в группе сравнения выявлена прямая средняя связь — соответственно $p = 690$ ($p < 0,001$) и $p = 530$ ($p = 0,029$), указывающая на снижение функциональных возможностей организма с увеличением БВ.

Нет различий между средним БВ у работающих с КРТ и в группе сравнения. Среди работающих с КРТ преобладают военнослужащие с ускоренным ТС, а в группе сравнения — с резко ускоренным ТС ($p = 0,075$). У военнослужащих, работающих с КРТ, обнаружена прямая средняя связь между БВ и адаптационным потенциалом ($p < 0,004$), свидетельствующая о функциональном напряжении регуляторных механизмов адаптации.

Средний БВ у участников боевых действий существенно меньше, чем у не участвовавших ($p < 0,001$). Для 90% участников боевых действий характерен резко замедленный и замедленный темп старения, тогда как в группе сравнения — ускоренный и резко ускоренный. Между БВ и адаптационным потенциалом у участников боевых действий (ВУБДсн и ВУБД) выявлена обратная слабая статистически незначимая связь ($r = -0,179$ и $r = -0,154$).

При ускоренном темпе старения снижается активность парасимпатического отдела ВНС и доминирует симпатическая регуляция, что в итоге приводит к истощению физиологических резервов организма.

Тип вегетативного тонуса следует рассматривать в качестве показателя, характеризующего функциональные возможности организма и степень напряжения адаптационно-компенсаторных реакций.

Более чем у 70% ЛПА выявлен вегетативный дисбаланс в сторону гиперактивности симпатического отдела ВНС. Симпатикотония и значительная вариабельность БВ и ТС у ЛПА указывают на избыточное напряжение компенсаторно-приспособительных реакций и сужение диапазона адаптации, приводящих к нарушению регуляции деятельности сердечно-сосудистой системы и в конечном итоге к развитию сердечно-сосудистой патологии. У ЛПА между адаптационным потенциалом и типом вегетативной регуляции межсистемного соотношения между дыхательной и сердечно-сосудистой системами обнаружена обратная средняя умеренная связь ($r = -0,308$), указывающая на нарушение сбалансированности взаимодействий вегетативного обеспечения кардиореспираторной системы. У необлучённых мужчин эта связь отсутствует.

Среди работающих с КРТ и участников боевых действий (ВУБДсн и ВУБД) преобладают военнослужащие с повышенной активностью парасимпатического отдела ВНС — соответственно 47,1; 73,3 и 65,9%. У первых связь адаптационного потенциала с типом вегетативного обеспечения межсистемного взаимодействия кардиореспираторной системы прямая сильная ($r = 0,726$; $p = 0,001$), у вторых — прямая средняя ($r = 0,683$; $p = 0,005$) и ($r = 0,674$; $p = 0,002$). Таким образом, установлено, что адаптационные возможности организма зависят от типа вегетативной регуляции межсистемных соотношений между дыхательной и сердечно-сосудистыми системами.

Повышенная активность автономного типа регуляции в покое (в период проведения обследования) свидетельствует об оптимизации вегетативного обеспечения сердечно-сосудистой деятельности, а центрального — о напряжении регу-

ляторных систем организма. В связи с этим цена адаптации у ЛПА значительно выше, чем у военнослужащих, работающих с КРТ, и участников боевых действий, у которых сохранение постоянства внутренней среды организма менее затратно. Длительное преобладание активности симпатического отдела вегетативной нервной системы ведёт к напряжению механизмов адаптации и повышенному расходу функциональных резервов организма (высокая «цена адаптации») и в итоге — к снижению защитных и компенсаторных механизмов [14].

Преобладание активности парасимпатического отдела ВНС свидетельствует о развитии у военнослужащих долговременной адаптации, обеспечивающей необходимый уровень работо- и боеспособности. Аналогичный процесс наблюдался у рабочих основных профессий [6].

При оценке адаптационного риска у военнослужащих, работающих с КРТ, необходимо учитывать, что они используют средства защиты кожи и органов дыхания, и состояние функционального напряжения в значительной степени обусловлено этим фактором.

Динамический контроль функциональных резервов и адаптационных возможностей организма у работающих, подвергающихся воздействию вредных и опасных производственных факторов, позволяет своевременно выявлять и прогнозировать развитие негативных изменений в состоянии здоровья. Методы оценки адаптивной реакции организма целесообразно использовать также для формирования групп риска при проведении диспансерного наблюдения и профессионального отбора для профессий, связанных с вредными и опасными условиями труда.

Оценка адаптационно-компенсаторных механизмов у военнослужащих позволяет выявить особенности функционирования организма в боевых условиях, что важно при отборе личного состава для выполнения сложной боевой задачи и разработки профилактических и реабилитационных мероприятий, обеспечивающих поддержание боеспособности и предупреждение развития негативных последствий для здоровья.

Заключение

1. Средние величины БВ и темпа старения у ЛПА меньше, чем в группе сравнения. У военнослужащих, работающих с КРТ, они сопоставимы с показателями в группе сравнения и меньше, чем у мужчин из населения. Биологический возраст у участников боевых действий в 2 раза меньше, чем в группе сравнения, темп старения у военнослужащих спецназа и у других участников боевых действий соответственно в 3,4 и в 1,7 раза меньше, чем в группе сравнения.

2. Преобладающее влияние симпатического отдела ВНС выявлено более чем у 70% ЛПА, доля которых в 1,9 раза превышает долю с вегетативным дисбалансом в группе сравнения. Доли военнослужащих с симпатикотонией, работающих с КРТ, и в группе сравнения практически равны и в 1,3 раза меньше, чем среди мужчин из населения. Среди участников боевых действий преобладают военнослужащие с ваготонией, а в группе сравнения — с симпатикотонией.

3. Доля обследованных с неудовлетворительной адаптацией и срывом адаптации среди ЛПА в 2,7 раза больше, чем в группе сравнения. Среди работающих с КРТ в 2,2 раза больше военнослужащих с состоянием функционального напряжения, чем в группе сравнения, в которой преобладают военнослужащие с удовлетворительной адаптацией. Среди участников боевых действий более 93% нормально или удовлетворительно адаптированы к условиям профессиональной деятельности.

4. Связь адаптационного потенциала с БВ у ЛПА на ЧАЭС прямая средняя, а с типом вегетативной регуляции кардиореспираторной системы обратная средняя ($r = -0,308$). У работающих с КРТ связь адаптационного потенциала с БВ прямая средняя ($r = 0,658$), а с типом вегета-

тивной регуляции кардиореспираторной системы — прямая сильная ($r = 0,726$). У участников боевых действий (ВУБДсн и ВУБД) связь между адаптационным потенциалом и БВ обратная слабая ($r = -0,179$ и $r = -0,154$), а с типом вегетативной регуляции кардиореспираторной системы — прямая средняя ($r = 0,683$ и $r = 0,674$).

5. Показатели биологического возраста и темпа старения, вегетативной регуляции и уровня адаптации могут быть

использованы как критерии оценки риска для здоровья работающих в условиях воздействия вредных и опасных факторов и формирования групп лиц, нуждающихся в динамическом медицинском наблюдении. Своевременное выявление изменений функционального статуса организма позволяет сохранить профессиональное долголетие, обеспечить надёжность профессиональной деятельности и предотвратить развитие заболеваний.

Литература

1. Баевский Р.М., Берсенева А.П. *Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний*. М.: Медицина; 1997.
2. Баевский Р.М., Черникова А.Г. Оценка адаптационного риска в системе индивидуального донозологического контроля. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2014; 100(10): 1180–94.
3. Мешков Н.А. Адаптивная реакция организма в отдаленный период после радиационного воздействия. *Мир науки, культуры, образования*. 2011; 27(2): 318–22.
4. Мешков Н.А. Вегетативный тонус и адаптационные реакции организма военнослужащих в зависимости от характера их профессиональной деятельности. *Медицина катастроф*. 2018; 104(4): 32–6.
5. Шпагина Л.Н., Филимонов С.Н. Оценка биологического возраста и темпа старения как показателя состояния здоровья шахтеров Кузбасса. *Фундаментальные исследования*. 2013; (7): 666–9.
6. Сетко Н.П., Моввергоз С.В., Булычева Е.В. Особенности функционального состояния организма операторов и машинистов нефтехимического предприятия в зависимости от трудового стажа. *Медицина труда и промышленная экология*. 2020; 60(1): 25–9. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-1-25-29>
7. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В., Гаврилушкин А.П., Довгалецкий П.Я., Кукушкин Ю.А. и соавт. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации). *Вестник аритмологии*. 2002; (24): 65–87.
8. Башкиров П.Н. *Учение о физическом развитии человека*. М.; 1962.
9. Войтенко В.П. *Здоровье здоровых. Введение в санологию*. Киев: Здоровье; 1991.
10. Решетников В.А., Гриценгир В.В., Широков Б.П. *Использование показателей биологического возраста для оптимизации лечебно-профилактических мероприятий в войсках. Учебно-методическое пособие*. Саратов; 2000.
11. Dean W., Morgan R.F. In defense of the concept of biological aging measurement — current status. *Arch. Gerontol. Geriatr.* 1988; 7(3): 191–210. [https://doi.org/10.1016/0167-4943\(88\)90002-7](https://doi.org/10.1016/0167-4943(88)90002-7)
12. Афанасьева Р.Ф., Прокопенко Л.В. Биологический возраст как критерий оценки условий труда (на примере производства титановых сплавов). *Медицина труда и промышленная экология*. 2009; (2): 1–5.
13. Кутакова Н.С., Шушкова Т.С., Юдина Т.В. Методология оценки темпов биологического старения в гигиенических исследованиях (обзор литературы). *Вестник Российского государственного медицинского университета*. 2013; (5): 59–63.
14. Ходжиев М., Прокопенко Л.В., Головкова Н.П., Тихонова Г.И., Фесенко М.А. Адаптация организма трудового мигранта к факторам риска трудового процесса с позиции функциональной системы П.К. Анохина. *Анализ риска здоровью*. 2016; (4): 107–18. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2016.4.12>

References

1. Baevskiy R.M., Berseneva A.P. *Evaluation of Adaptive Capacity and Disease Risk [Otsenka adaptatsionnykh vozmozhnostey organizma i risk razvitiya zabol-evaniy]*. Moscow: Meditsina; 1997. (in Russian)
2. Baevskiy R.M., Chernikova A.G. Assessment of adaptation risk in the individual prenosological control. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2014; 100(10): 1180–94. (in Russian)
3. Meshkov N.A. Adaptive reaction in a distant period after radiation exposure. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. 2011; 27(2): 318–22. (in Russian)
4. Meshkov N.A. Vegetative tonus and adaptive response of organism of military personnel depending on nature of their professional activity. *Meditsina katastrof*. 2018; 104(4): 32–6. (in Russian)
5. Shpagina L.N., Filimonov S.N. Assessment of biological age and rate of aging as indicator of health state of Kuzbass miners. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2013; (7): 666–9. (in Russian)
6. Setko N.P., Movergoz S.V., Bulychева E.V. Features of the functional state of professionally significant body systems of operators and machinists of a petrochemical enterprise depending on their work experience. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2020; 60(1): 25–9. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-1-25-29> (in Russian)
7. Baevskiy R.M., Ivanov G.G., Chireykin L.V., Gavrilushkin A.P., Dovgalevskiy P.Ya., Kukushkin Yu.A., et al. Heart rate variability analysis with various electrocardiographs (Guidelines). *Vestnik aritmologii*. 2002; (24): 65–87. (in Russian)
8. Bashkirov P.N. *Study of Human Physical Development [Uchenie o fizicheskom razvitiy cheloveka]*. Moscow; 1962. (in Russian)
9. Voytenko V.P. *Health of the Healthy. Introduction to Sanology [Zdorov'e zdorovykh. Vvedenie v sanologiyu]*. Kiev: Zdorov'e; 1991. (in Russian)
10. Reshetnikov V.A., Gritsengir V.V., Shirokov B.P. *Use of Biological age Indicators to Optimize Medical and Preventive Measures in the Troops. Educational Guide [Ispol'zovanie pokazateley biologicheskogo vozrasta dlya optimizatsii lechebno-profilakticheskikh meropriyatiy v voyskakh. Uchebno-metodicheskoe posobie]*. Saratov; 2000. (in Russian)
11. Dean W., Morgan R.F. In defense of the concept of biological aging measurement — current status. *Arch. Gerontol. Geriatr.* 1988; 7(3): 191–210. [https://doi.org/10.1016/0167-4943\(88\)90002-7](https://doi.org/10.1016/0167-4943(88)90002-7)
12. Afanas'eva R.F., Prokopenko L.V. Biologic age as a criterion for work evaluation (exemplified by titanium alloys production). *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2009; (2): 1–5. (in Russian)
13. Kutakova N.S., Shushkova T.S., Yudina T.V. Assessment methodology of rates of biological aging in hygienic studies (Review). *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*. 2013; (5): 59–63. (in Russian)
14. Khodzhiyev M., Prokopenko L.V., Golovkova N.P., Tikhonova G.I., Fesenko M.A. Adaptation of the migrant worker's body to the occupational risk factors from the position of functional system of P.K. Anokhin. *Analiz riska zdorov'yu*. 2016; (4): 107–18. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2016.4.12> (in Russian)