

УДК 612.821

ОСОБЕННОСТИ СЛОЖНОЙ ЗРИТЕЛЬНО-МОТОРНОЙ РЕАКЦИИ И ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПОД ВЛИЯНИЕМ РАБОЧЕЙ НАГРУЗКИ У ПОЖАРНЫХ-СПАСАТЕЛЕЙ

© 2020 г. Н. Ю. Власенко*

ФГБОУ ВО Тверской государственный технический университет
Министерства науки и высшего образования РФ, Тверь, Россия

*E-mail: natalya_vlasenko@mail.ru

Поступила в редакцию 01.11.2019 г.

После доработки 11.02.2020 г.

Принята к публикации 20.03.2020 г.

В исследовании обнаружено, что в трех группах пожарных-спасателей, распределенных по стажу службы, в начале рабочей суточной смены показатели сложной зрительно-моторной реакции свидетельствовали о благоприятном функциональном состоянии и практически значимо не отличались. В конце смены в группе со стажем 1–6 лет (этап профессиональной адаптации) уровень психофизиологической надежности не снизился. В группах со стажем 7–15 (этап сложившегося профессионализма) и 16–22 года (этап возможных профессиональных деформаций) отмечено его уменьшение. Параметры вариабельности сердечного ритма в начале смены во всех группах значимо отличались. У пожарных-спасателей со стажем 1–6 и 16–22 года низкий уровень индекса напряжения свидетельствовал об управлении организма автономным контуром регуляции при наличии дизадаптивных явлений по параметрам спектрального анализа ритма. В группе со стажем службы 7–15 лет он соответствовал норме и был сбалансирован со спектральными показателями. В конце смены во всех группах отмечалось нарастание вагусного влияния. Корреляционный анализ выявил в группе со стажем службы 7–15 лет соответствие между психофизиологической нагрузкой и ее вегетативным обеспечением, в группах со стажем 1–6 и 16–22 года обнаружены явления десинхронизации.

Ключевые слова: сложная зрительно-моторная реакция, вариабельность сердечного ритма, пожарные-спасатели, профессиональный стаж.

DOI: 10.31857/S0131164620040141

Особенности сенсомоторного реагирования (СМР) человека лежат в основе оперативного анализа ситуации и принятия решений. Их детерминированность генетическими факторами позволяет заключить, что временные и точностные показатели СМР являются относительно постоянными индивидуально-типологическими свойствами человека на протяжении определенных отрезков онтогенеза и представляют собой часть психофизиологического профиля [1]. Для представителей опасных профессий: пожарных-спасателей, бойцов отрядов силовых подразделений, пилотов, машинистов, операторов пультов управления характеристики сенсомоторных реакций являются критериями для профотбора [2]. В условиях скрининговой программно-аппаратной диагностики возможно определение их особенностей, что позволяет прогнозировать успешность обучения и приобретения профессиональных навыков, а также предсказывать особенности поведения человека в экстремальной ситуации.

Так, в ведомстве МЧС РФ разработаны специальные методические руководства, определяющие психофизиологическую пригодность кандидатов на службу по особенностям простой и сложной зрительно-моторных реакций (ПЗМР, СЗМР) при медико-психологическом обследовании на этапе профотбора [3, 4].

В условиях физического и нервно-эмоционального напряжения, сопровождающих экстремальный труд, возможно ухудшение функционального состояния работника, что, по мнению многих исследователей, сказывается на параметрах СМР [5–8]. Мониторинг их динамики позволяет превентивно оценить снижение качества деятельности. Медико-психологическая служба МЧС руководствуется ведомственными нормативами оценки функционального состояния пожарных-спасателей при ежегодном психофизиологическом обследовании [3, 4].

Традиционно в физиологии спорта и труда для оценки функционального состояния организма используется метод вариабельности сердечного ритма (ВСР) [9–11]. В настоящем исследовании предпринята попытка комплексного анализа психофизиологических и физиологических переменных пожарных-спасателей с разным сроком работы с учетом суточной профессиональной нагрузки.

Гипотезой исследования явилось предположение о существовании различий параметров СЗМР и ВСР у пожарных-спасателей с разным стажем службы в МЧС: 1) на этапах овладения профессией и профессиональных деформаций (начальный и финишный сроки службы) возможно снижение уровня сенсомоторного реагирования и увеличение напряжения вегетативного обеспечения организма; 2) в период сформированного профессионализма (средний срок службы) состояние организма бойцов соответствует оптимальному уровню.

В задачи работы входил анализ корреляций между психофизиологическими и физиологическими показателями для понимания наличия системности процессов.

МЕТОДИКА

Исследование выполняли в пожарных частях № 2, 3, 4 Федеральной противопожарной службы (ФПС) МЧС по Тверской области. В обследовании принимали участие 235 пожарных-спасателей мужского пола (в возрасте от 25 до 45 лет) со стажем службы от 1 до 22 лет.

Все обследуемые были распределены по трем группам в зависимости от стажа службы. Первая группа была представлена пожарными-спасателями со стажем от 1 до 6 лет в возрасте 24–30 лет ($n = 80$). В этот период происходит поэтапное (через каждые 2 года) присвоение классов: третьего, второго и первого, что соответствует адаптации и овладению профессией (<http://base.garant.ru/70585792/>). Во вторую группу объединили пожарных-спасателей со стажем службы 7–15 лет в возрасте 31–38 лет ($n = 69$). Данный этап характеризуется сформированным профессионализмом, что соответствует максимальной эффективности, устойчивости и надежности в работе. 23 сотрудника этой группы имеют присвоенный наивысший класс наставника. Третья группа представлена пожарными-спасателями со стажем службы 16–22 года в возрасте 39–45 лет ($n = 86$). Для специалистов экстремального профиля это период возможного профессионального “выгорания и деструкций”, когда могут проявляться дизадаптивные процессы, связанные с истощением ресурсов организма [12]. Режим службы пожарных составлял цикл из одних рабочих и трех суток от-

дыха. Обследование проводили в начале и конце рабочей смены с 8:30 до 10:00 ч утра. Работа проходила в июне 2014 г. в период относительного благополучия пожарной обстановки в регионе во время смен с режимом ликвидации последствий не чрезвычайной ситуации (1–2 выезда на пожары за смену), что соответствовало классу условий труда по тяжести 3.3. При этом профессиональная деятельность пожарных-спасателей протекала в режиме повышенной готовности и бдительности (класс труда по напряженности 3.2) [13]. Каждый сотрудник смены в ночной период заступал в караул на пост дежурного по телефонному пульту на 2 ч, о чем свидетельствовала запись в журнале пожарной части.

Для оценки СЗМР использовали портативный аппарат “Психофизиолог” (“Медиком МТД”, Россия). Обследование рекомендовано научно-исследовательским отделом психологической и психофизиологической диагностики главного управления “Центра экстренной психологической помощи МЧС России” при профотборе кандидатов на службу и ежегодном мониторинге функционального состояния пожарных-спасателей [3, 4]. Процедура заключалась в нажатии (как можно быстро) на клавиши пальцами правой руки при предъявлении зеленого сигнала, левой – красного (тип реагирования: *Go/Go*-реакция). Тест состоял из 75 стимулов (первые 5 – тренировочные и в расчете не учитывали), которые предъявляли аperiodично и в случайном порядке. Тест предназначен для оценки уровня операторской работоспособности по следующим позициям: быстродействия по среднему времени реакции (СВР, мс); стабильности времени реакции (среднеквадратичное отклонение, СКО, мс); наличия ошибок: пропусков, упреждений, неправильных нажатий по отдельности и в сумме (*ER*); интегрального показателя надежности (ИПН, %), рассчитываемому как среднее коэффициентов надежности каждого СЗМР ответа (всем безошибочным ответам присваивается коэффициент в зависимости от ВР, всем ошибочным – 0%); оценки уровня сенсомоторных реакций (ОУСР, отн. ед.), рассчитываемой из соотношения СВР и *ER* [14].

Для исследования ВСР использовали диагностический комплекс “Кредо” (“ДНК и К”, Россия). Запись 500 кардиоциклов осуществляли в I стандартном отведении в положении лежа. Оценивали моду (M_0 , с), представляющую собой значение наиболее часто встречающегося *R–R*-интервала и указывающую на доминирующий уровень функционирования синусного узла. Производили трактовку амплитуды моды (AM_0 , %), которая показывает отношение количества *R–R*-интервалов со значениями, равными M_0 , к общему количеству *R–R*-интервалов и отражает степень ригидности ритма. Анализировали показа-

тель адекватности процессов регуляции (ПАПР, усл. ед.), рассчитываемый как AMo/Mo . Он отражает соответствие между активностью симпатического отдела ВНС и ведущим уровнем синусного узла. Оценивали индекс напряжения регуляторных систем (ИН) в отн. ед., который трактуется как степень централизации управления сердечным ритмом и рассчитывается как $AMo/(2xdRRxMo)$. Учитывали стандартное отклонение величин нормальных кардиоинтервалов ($SDNN$, мс); квадратный корень из среднего квадратов разностей величин последовательных пар интервалов ($RMSSD$, мс). По этим значениям можно судить об отклонении кардиоинтервалов от среднего значения ряда и степени их вариабельности. Оценивали параметры спектрального анализа ритма: высокочастотные (HF , мс²), низкочастотные (LF , мс²), очень низкочастотные (VLF , мс²) волны. Сумму трех компонентов выражали в общем спектре волн (TF , мс²). Отношение LF/HF трактовали как вагосимпатический индекс, который выражается в отн. ед. Анализ ВСР проводили в соответствии с отечественными и зарубежными трактовками [9, 15, 16].

При математической обработке данных с помощью программы "SPSS 22" была проведена проверка распределения вариационных рядов на нормальность с использованием критерия Колмогорова-Смирнова. С учетом их нормального распределения использовали дескриптивный анализ с описанием средние выборочного значения и стандартной ошибки среднего (в тексте $M \pm m$). Анализ межгрупповых различий изучали с помощью однофакторного дисперсионного анализа для независимых выборок (*one-way ANOVA*) с проверкой гомогенности дисперсий по *Levene test*. С целью обнаружения значимых различий между группами далее проводили *post-hoc*-анализ с попарным апостериорным сравнением при помощи поправки Бонферрони. Для сравнения средних значений изучаемых признаков в начале и конце смены внутри групп использовали парный критерий Стьюдента (*paired t-test*). Для оценки связи между признаками рассчитывали коэффициенты корреляции Пирсона. С помощью точного критерия Фишера осуществляли проверку однородности всех переменных по средним величинам возрастных подгрупп внутри каждой группы по сопряженным четырехпольным таблицам. За критический уровень значимости различий принимали значение 0.05 [17–19].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В начале смены среднegrupповые значения СВР всех групп находились выше среднего уровня (табл. 1).

При анализе индивидуальных показателей по диапазонам шкалы СВР выявлено следующее распределение уровня быстрodeйствия: у 21, 25, 21% лиц в первой, второй и третьей группах – высокий уровень; у 60, 27, 71% – выше среднего; у 19, 33, 8% – средний; у 15% пожарных второй группы – ниже среднего.

В конце суточной смены при помощи *paired t-test* обнаружили значимое повышение СВР во всех группах со смещением на средний уровень шкалы: в первой – на 14.3, второй – 2.4, третьей – 12.4% ($p_1 = 0.016$; $p_2 = 0.014$; $p_3 = 0.013$), что расценивали как уменьшение быстрodeйствия (табл. 2).

Индивидуальные СВР претерпели тренд увеличения у 79% лиц в целом. При этом у 17% пожарных-спасателей во всех группах показатели возросли более чем на 30%.

Уровень стабильности, определяемый по СКО, в начале и конце смены во всех группах был выше среднего.

Анализ показателей безошибочности (ER) в начале смены выявил средний уровень в первой и второй группах, а в третьей – "выше среднего". В структуре ошибок не обнаружено ни одного пропуска сигнала. Неправильные нажатия превышали упреждения на 81, 75, 91% в обследованных группах, что свидетельствовало о затруднениях дифференцировки предъявляемых стимулов. Дисперсионный анализ выявил значимые межгрупповые различия упреждений ($F = 6.64$; $p = 0.019$), что позволило попарно сравнить группы и обнаружить более высокое значение во второй группе относительно других ($p_{1-2} = 0.028$; $p_{2-3} = 0.014$; $p_{1-3} = 0.039$). В конце смены обнаружен парадоксальный тренд уменьшения ошибок в целом со значимыми различиями в первой и второй группах ($p_1 = 0.015$; $p_2 = 0.017$). Отмечено изменение их структуры: появление пропусков во второй и третьей группах ($p_2 = 0.016$; $p_3 = 0.017$) и снижение неправильных нажатий в первой и второй ($p_1 = 0.016$; $p_2 = 0.014$), что расценивали как улучшение переключаемости внимания на фоне уменьшения длительности.

В начале смены ОУСР в первой и третьей группах соотносили с уровнем "выше среднего", у второй – средним. В конце смены отмечено значимое уменьшение уровня сенсомоторных реакций в третьей группе ($p_3 = 0.016$), а дисперсионный анализ выявил его значимые межгрупповые различия ($F = 7.28$; $p = 0.023$), что позволило попарно сравнить группы и обнаружить более высокое значение в первой группе относительно других ($p_{1-2} = 0.031$; $p_{2-3} = 0.069$; $p_{1-3} = 0.042$).

Обнаружено, что индекс ИПН в начале смены во всех группах соответствовал зоне "выше среднего", в конце во второй и третьей группах произошло снижение на 22 и 26% и переход на сред-

Таблица 1. Средние значения показателей СЗМР в начале рабочей смены ($M \pm m$)

Показатели (единицы измерения)	1 группа ($n = 80$), стаж 1–6 лет	2 группа ($n = 69$), стаж 7–15 лет	3 группа ($n = 86$), стаж 16–22 года	Интерпретация [14]
СВР, мс	420.56 ± 17.3422	429.08 ± 12.52	426.41 ± 12.49	Уровень быстродействия: <405 – высокий; 405–462 – выше среднего; 463–525 – средний; 526–690 – ниже среднего; 691–2000 – низкий
СКО, мс	82.63 ± 6.45	74.29 ± 4.05	80.40 ± 5.29	Уровень стабильности: <65 – высокий; 90–65 – выше среднего; 91–120 – средний; 121–197 – ниже среднего; >197 – низкий
Ошибки (ER):				
Пропуски	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	–
Упреждения	0.18 ± 0.01	$0.81 \pm 0.04^{*\&}$	$0.42 \pm 0.03^{\#}$	–
Неправильные нажатия	1.79 ± 0.04	1.59 ± 0.04	1.01 ± 0.05	–
Всего ошибок	1.97 ± 0.06	2.40 ± 0.06	1.43 ± 0.04	Уровень безошибочности: 0 – высокий; 1 – выше среднего; 2–3 – средний; 4–5 – ниже среднего; >6 – низкий
ОУСР, отн. ед.	0.62 ± 0.03	0.44 ± 0.02	$0.65 \pm 0.03^{\&}$	Уровни СР: >0.80 – высокий; 0.58–0.8 – выше среднего; 0.59–0.36 – средний; 0.37–0.1 – сниженный; <1 – низкий
ИПН, %	72.27 ± 5.48	66.21 ± 5.37	68.45 ± 6.37	Уровни надежности: >80 – высокий; 58–80 – выше среднего; 59–36 – средний; 37–10 – сниженный; <10 – низкий

Примечание: M – среднее арифметическое, m – стандартная ошибка среднего арифметического; * – значимые различия средних 1 и 2 групп, & – значимые различия средних 2 и 3 групп, # – значимые различия средних 1 и 3 групп (*one-way ANOVA* с последующим *post-hoc* с поправкой Бонферрони) на уровне $p < 0.05$.

ний уровень ($p_2 = 0.015$; $p_3 = 0.013$). В первой группе выявлено уменьшение на 16%, при этом среднегрупповое значение осталось на прежнем уровне.

Анализ литературных публикаций показывает, что динамика времени сенсомоторных реакций нелинейно коррелирует с периодами онтогенеза, постепенно уменьшаясь в процессе морфофунк-

ционального созревания ЦНС в детстве и увеличиваясь в пожилом возрасте. Период интенсивного развития сенсорного и моторного компонентов приходится на младший школьный возраст, что позволяет обозначить данный возрастной этап как сензитивный для развития сенсомоторной деятельности. К 21–23 годам время СМР человека достигает устойчивых минималь-

Таблица 2. Средние значения показателей СЗМР в конце рабочей смены ($M \pm m$)

Показатели (единицы измерения)	1 группа ($n = 80$), стаж 1–6 лет	2 группа ($n = 69$), стаж 7–15 лет	3 группа ($n = 86$), стаж 16–22 года
СВР, мс	460.21 \pm 15.76 \uparrow	487.53 \pm 17.21 \uparrow	490.49 \pm 18.24 \uparrow
СКО, мс	76.28 \pm 4.53	82.03 \pm 5.91	96.78 \pm 8.75
Ошибки (ER):			
Пропуски	0.00 \pm 0.00	0.15 \pm 0.01 \uparrow	1.00 \pm 0.09 \uparrow
Упреждения	0.20 \pm 0.01 \uparrow	0.79 \pm 0.05	0.28 \pm 0.01
Неправильные нажатия	0.79 \pm 0.04 \downarrow	0.81 \pm 0.05 \downarrow	0.61 \pm 0.03
Всего ошибок	0.99 \pm 0.05 \downarrow	1.75 \pm 0.08 \downarrow	1.89 \pm 0.07
ОУСР, отн. ед.	0.63 \pm 0.03*#	0.41 \pm 0.02	0.48 \pm 0.02 \downarrow
ИПН, %	62.38 \pm 7.35	49.53 \pm 5.01 \downarrow	53.35 \pm 6.01 \downarrow

Примечание: \uparrow и \downarrow – значимое увеличение и уменьшение в сравнении с данными в начале смены внутри группы (*paired t-test*). Остальные обозначения см. табл. 1.

Таблица 3. Средние значения показателей ВСР в начале рабочей смены ($M \pm m$)

Показатели (единицы измерения)	1 группа ($n = 80$), стаж 1–6 лет	2 группа ($n = 69$), стаж 7–15 лет	3 группа ($n = 86$), стаж 16–22 года	Нормативные значения [9, 16, 17]
Mo , с	0.83 \pm 0.02	0.81 \pm 0.02	0.87 \pm 0.01 $^{\wedge}$	0.70–0.90
AMo , %	36.7 \pm 2.9	51.8 \pm 1.4* $\&$	34.5 \pm 4.8	30–50
ПАПР, усл. ед.	48.1 \pm 3.5	67.9 \pm 4.2* $\&$	51.7 \pm 5.1	35–70
ИН, усл. ед.	58.3 \pm 4.8	87.5 \pm 6.9* $^{\wedge}$	49.7 \pm 4.9 $^{\#}$	80–140
$SDNN$, мс	91.5 \pm 8.0	77.2 \pm 6.9	98.5 \pm 8.0	62–120
$RMSSD$, мс	61.7 \pm 6.5	64.9 \pm 6.7	81.6 \pm 7.0	16–50
HF , мс ²	922.3 \pm 39.3	789.3 \pm 49.5* $\&$	630.4 \pm 63.7 $^{\#}$	772–1178
LF , мс ²	872.4 \pm 57.1	743.6 \pm 31.2 $\&$	1037.2 \pm 41.5	754–1586
VLF , мс ²	379.2 \pm 34.4	269.3 \pm 48.9	318.7 \pm 35.8	355–1175
TF , мс ²	1893.2 \pm 182.1	2590.1 \pm 171.6	2192.7 \pm 200.3	2448–4484
LF/HF , отн. ед.	1.3 \pm 0.3	1.7 \pm 0.4	2.1 \pm 0.3	1.5–2.0

Примечание: обозначения см. табл. 1.

ных значений, которые остаются стабильными в течение периодов молодости и зрелости [20–22].

Для исключения детерминантной обусловленности полученных значений СЗМР возрастной динамикой обследованных лиц был проведен корреляционный анализ. Внутри рядов переменных целой выборки и каждой группы не обнаружены сильные значимые связи с возрастом пожарных-спасателей. Кроме того, вариационные ряды всех переменных внутри каждой группы проверили на однородность при помощи точного критерия Фишера, в результате чего исключили возраст в качестве фактора конфаундера.

Таким образом, в начале рабочей смены исследование выявило аналогичные и, в большинстве своем без статистически значимых различий, исходные параметры СВР, СКО и ER в трех группах пожарных-спасателей. Они соответствовали уров-

ню “выше среднего” и свидетельствовали о достаточно благоприятном психофизиологическом функциональном состоянии. В конце смены отмечено снижение быстродействия и надежности на фоне повышения безошибочности за счет улучшения дифференцировки сигнала. Интегральный показатель надежности в начале смены во всех группах соответствовал зоне “выше среднего”, в конце во второй и третьей отмечено значимое снижение на средний уровень, в первой группе психофизиологическая надежность не претерпела изменений.

Следующим этапом стало исследование ВСР. В табл. 3 представлен сравнительный анализ показателей в начале смены.

Дисперсионный анализ выявил значимые межгрупповые различия значений AMo ($F = 7.69$; $p = 0.012$), ПАПР ($F = 6.92$; $p = 0.021$), ИН ($F =$

Таблица 4. Средние значения показателей ВСП в конце рабочей смены ($M \pm m$)

Показатели (единицы измерения)	1 группа ($n = 80$), стаж 1–6 лет	2 группа ($n = 69$), стаж 7–15 лет	3 группа ($n = 86$), стаж 16–22 года
Mo , с	0.91 ± 0.02	$0.94 \pm 0.02 \uparrow$	0.90 ± 0.03
AMo , %	32.7 ± 4.1	$36.7 \pm 3.4 \downarrow$	37.6 ± 4.6
ПАПР, усл. ед.	43.5 ± 4.3	$41.5 \pm 4.4 \downarrow$	40.8 ± 4.1
ИН, усл. ед.	52.5 ± 6.4	$71.6 \pm 7.2 \downarrow$	43.7 ± 5.9
$SDNN$, мс	$74.7 \pm 7.3 \downarrow$	$91.4 \pm 8.3 \uparrow$	$65.6 \pm 7.2 \downarrow$
$RMSSD$, мс	62.7 ± 6.2	64.6 ± 8.2	$62.5 \pm 6.4 \downarrow$
HF , мс ²	$2201.2 \pm 41.7 \uparrow$	$3127.5 \pm 49.9 \uparrow$	$2397.6 \pm 69.3 \uparrow$
LF , мс ²	$1984.6 \pm 65.7 \uparrow$	$2093.6 \pm 49.9 \uparrow$	$1891.8 \pm 59.3 \uparrow$
VLF , мс ²	$1009.2 \pm 48.1 \uparrow$	$1096.9 \pm 50.1 \uparrow$	$701.2 \pm 45.4 \uparrow^{*\&}$
TF , мс ²	$4275.2 \pm 200.81 \uparrow$	$6032.5 \pm 194.5 \uparrow^{*\&}$	$4673.5 \pm 287.7 \uparrow$
LF/HF , отн. ед.	0.9 ± 0.2	$0.8 \pm 0.1 \downarrow$	$0.9 \pm 0.1 \downarrow$

Примечание: обозначения см. табл. 1 и 2.

= 5.17; $p = 0.029$), HF ($F = 6.48$; $p = 0.025$), LF ($F = 6.98$; $p = 0.020$).

Обнаружено, что средние значения Mo во всех трех группах пожарных-спасателей находились в пределах нормы, однако минимальным оно было во второй, а максимальным – в третьей группах со значимыми отличиями ($p_{1-2} = 0.082$; $p_{2-3} = 0.039$; $p_{1-3} = 0.062$). Обратная тенденция была обнаружена по параметру AMo . Во второй группе среднее значение превышало норму и значимо отличалось от показателей первой и третьей групп ($p_{1-2} = 0.028$; $p_{2-3} = 0.041$; $p_{1-3} = 0.072$).

Особыми показателями ВСП по Р.М. Баевскому являются ПАПР и ИН [9]. Во всех группах ПАПР находился в пределах нормы, при этом во второй – значимо выше по сравнению с первой и третьей ($p_{1-2} = 0.031$; $p_{2-3} = 0.027$; $p_{1-3} = 0.061$). Средние значения ИН в первой и третьей группах были значимо ниже среднего показателя второй группы и нормативных параметров ($p_{1-2} = 0.035$; $p_{2-3} = 0.029$; $p_{1-3} = 0.044$). Параметры $SDNN$ и $RMSSD$ трех групп значимо не отличались между собой, при этом последний оказался во всех группах выше нормативных значений.

Спектральный анализ ВСП обнаружил низкие значения мощности общего спектра (TF) и всех его составляющих (HF , LF , VLF) в первой и третьей группах относительно невысоких значений ИН. Индекс LF/HF в первой группе был ниже нормы, третьей выше нормы. Во второй группе большинство значений спектра были сбалансированы с ИН.

Далее в соответствии с целью работы были проанализированы значения сердечного ритма у пожарных-спасателей в конце рабочей смены (табл. 4). Дисперсионный анализ выявил значи-

мые межгрупповые различия значений VLF ($F = 6.29$; $p = 0.027$) и TF ($F = 5.97$; $p = 0.031$).

В целом обнаружены тренды в увеличении вариабельности ритма. В первой и третьей группах статистически значимый рост выявлен у параметров спектрального анализа (HF , LF , VLF и TF). При этом индекс LF/HF у пожарных-спасателей третьей группы достоверно снизился ($p_3 = 0.021$). Во второй группе значимые изменения претерпели как статистические (Mo , AMo , ПАПР, ИН и $SDNN$), так и спектральные показатели. Результаты Mo и AMo начала смены в этой группе свидетельствовали о более выраженном в сравнении с другими группами симпатико-тоническом влиянии на сердечный ритм. Статистически значимое превышение ПАПР, по сравнению с первой и третьей, отражало более адекватный характер процессов регуляции в последних, при этом его значения во всех группах находились в норме. Средние значения ИН в первой и третьей группах продемонстрировали значимо более низкое напряжение систем регуляции организма. Данные $SDNN$ и $RMSSD$ трех групп свидетельствовали о вагусных влияниях на сердечный ритм. Таким образом, результат статистического анализа ВСП в начале смены показал, что большинство параметров находилось в пределах нормы, за исключением низких значений ИН первой и третьей и высоких $RMSSD$ у всех групп. Такая картина характеризует выраженное парасимпатическое влияние на синусный ритм у пожарных с начальным и финальным этапами профессионального развития.

Спектральный анализ ВСП выявил низкие значения мощности общего спектра (TF) и всех его составляющих (HF , LF , VLF) в первой и третьей группах, что нетипично для низких значений ИН. Такая картина характерна для высоких пока-

зателей ИН и характеризует переход управления организма от автономного к центральному контуру. Индекс LF/HF в такой ситуации должен быть выше нормы (2.0 отн. ед.) и отражать централизацию сердечного ритма. При этом в первой группе он был ниже нормы — 1.3 ± 0.3 отн. ед. По всей видимости, гетерогенность и разнонаправленность результатов ВСР этой группы отражает сложный характер адаптации в экстремальных условиях труда на первом этапе профессионального становления и развития. Во второй группе все значения соответствовали нормативным, были сбалансированными и закономерными. В третьей группе распределение разночастотных волн и TF оказалось в пределах нормы, однако значимое уменьшение мощности быстрых, повышение медленных волн и LF/HF , по сравнению со второй группой, показало снижение адаптационных ресурсов.

Н.И. Шлык выявлено, что совершенствование функционального состояния регуляторных систем, сопровождающегося переходом умеренного преобладания автономной регуляции сердечного ритма к выраженному, как показателю высокой тренированности, не может происходить за короткий промежуток времени и представляет собой длительный процесс [23]. Ускоренный путь повышения тренированности в результате систематического форсирования физических нагрузок ведет к быстрому нарастанию дисрегуляции и, как следствие, перетренированности и перенапряжению организма, донозологическим состояниям и болезни.

Полученные данные позволяют полагать, что вагусный профиль функционального состояния пожарных-спасателей 1 и 3 групп может свидетельствовать о дисрегуляции из-за “высокой цены адаптации” на начальном этапе овладения профессией в первом случае и истощения ресурсов во втором.

Выявить “патологический” характер выраженного преобладания автономной регуляции сердечного ритма можно с помощью функциональных проб. Р.М. Баевский предлагает рассматривать в их качестве спортивную и профессиональную нагрузку и производить оценку динамических сдвигов ВСР до и после нее [24]. С этой целью были проанализированы значения сердечного ритма у пожарных-спасателей в конце рабочей смены. При оценке их динамики обращают на себя внимание общие тенденции к увеличению ВСР под контролем вагусного автономного контура регуляции во всех группах. Такие сдвиги обнаружены в статистических и спектральных параметрах. Далее представлена попытка объяснения подобных реакций организма с разных позиций. Во-первых, это может являться следствием дизадаптивных трендов, известных в

физиологии спорта как феномен “перетренированности”, а в физиологии труда как “утомление” и “переутомление”. По мнению В.А. Бодрова, В.И. Медведева и А.Б. Леоновой, развитие утомления определяется как центрально-нервными (корковыми), так и другими физиологическими феноменами. К ним относятся состояние внутренней среды организма, ее лабильность и стремление к устойчивости (постоянству), соотношение эрготропных и трофотропных процессов, а также другие феномены гомеостатической регуляции. Утомление приводит к декомпенсации регуляторных механизмов приспособления к условиям профессиональной деятельности [25, 26]. Таким образом, в рамках этой концепции нарастание вагусных влияний можно расценивать как отражение снижения функционального состояния с признаками утомления. С другой стороны, возможно проявление другого явления — “предстартового стресса”, в данном случае предменного. Он обеспечивает определенную мобилизацию ресурсов организма еще до нагрузки по условно рефлекторному контуру. В условиях постоянного чередования рабочих смен с отдыхом такая адаптационная настройка вполне возможна.

Анализ исследований показывает, что параметры ВСР у взрослых людей претерпевают возрастную динамику, демонстрируя постепенное нарастание ригидности ритма после 35–40 лет [27]. Для исключения детерминантной обусловленности полученных значений возрастной динамики обследованных лиц был проведен корреляционный анализ с показателями ВСР. Так же как и с параметрами СЗМР внутри рядов переменных целой выборки не обнаружены значимые корреляции с возрастом пожарных-спасателей, что исключает линейность связей. Кроме того, вариационные ряды всех переменных внутри каждой группы проверили на однородность при помощи точного критерия Фишера, в результате чего исключили возраст в качестве фактора конфаундера.

Далее был проведен корреляционный анализ ряда параметров СЗМР и ВСР в начале и конце рабочей смены, обнаруживший ряд особенностей. Среди показателей ВСР в качестве предиктора протекания сенсомоторных реакций по наибольшему количеству обнаруженных связей был выбран ИН. На уровне всей выборки сильные и средние связи не найдены (табл. 5). При этом внутригрупповая оценка показала разнонаправленный характер корреляций.

Так, в первой группе между ИН и параметрами СЗМР сильные связи не обнаружены, что, вероятно, свидетельствует о сложном процессе адаптации и перестройки функциональных возможностей в экстремальных условиях труда.

Таблица 5. Структура взаимосвязей ИН и показателей СЗМР в начале и конце рабочей смены (r , при $p < 0.05$)

Показатели СЗМР (единицы измерения)	Выборка в целом ($n = 235$)		1 группа ($n = 80$), стаж 1–6 лет		2 группа ($n = 69$), стаж 7–15 лет		3 группа ($n = 86$), стаж 16–22 года	
	в начале смены	в конце смены	в начале смены	в конце смены	в начале смены	в конце смены	в начале смены	в конце смены
СВР, мс	0.19	–0.16	0.42	0.02	–0.69	–0.70	0.59	–0.71
СКО, мс	–0.210	0.13	0.16	–	–0.56	–0.64	–0.61	0.69
Ошибки (ER)	0.19	–	–0.07	–0.39	0.89	0.42	–	–
ОУСР, отн. ед.	–0.11	0.08	–0.09	0.19	–0.37	0.19	–0.16	–0.37
ИПН, %	0.06	–	–0.38	–	0.56	0.71	–	–

Примечание: полужирным шрифтом выделены сильные и средние по силе связи.

Более четкая структура связей в начале и конце смены обнаружена во второй группе. Так, сильные обратные связи ИН с уровнями СВР, СКО и ИПН свидетельствуют о росте быстродействия, стабильности и надежности при увеличении симпатических влияний на ритм сердца. При этом прямые корреляции ИН с уровнем ошибок (ER) отражают снижение качества СЗМР при росте ИН. Вероятно, сбалансированный вегетативный профиль обеспечивает оптимизацию функционального состояния и надежность работы. Можно полагать, что обнаруженные закономерности свидетельствуют о стабильности и балансе механизмов регуляции физиологических и психофизиологических процессов. В третьей группе выявлены сильные связи ИН с СВР и СКО. При этом разнонаправленный характер в начале и конце смены может отражать десинхронизацию вегетативного обеспечения психофизиологической надежности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что в группах пожарных-спасателей, распределенных по стажу службы, в начале рабочей смены параметры СЗМР за исключением упреждений не имели значимых различий. Показатели СВР, СКО и ER соответствовали уровню “выше среднего” и свидетельствовали о достаточно благоприятном психофизиологическом функциональном состоянии. В конце смены обнаружены статистически значимые межгрупповые различия ОУСР. Во всех группах отмечено снижение быстродействия и надежности на фоне повышения безошибочности за счет улучшения дифференцировки сигнала. Интегральный показатель надежности в начале смены во всех группах соответствовал зоне “выше среднего”, а в конце во второй и третьей группах отмечено его значимое снижение до среднего уровня. В первой группе психофизиологическая надежность не претерпе-

ла изменений и осталась на уровне “выше среднего” в конце смены.

Большинство параметров ВСР у пожарных-спасателей трех групп в начале работы значимо отличались. В группах со стажем 1–6 и 16–22 года в начале рабочей 24-часовой смены ИН был ниже средних нормативных значений, что расценивается как состояние, управляемое автономным трофотропным контуром регуляции без центральных энергозатрат. При этом особенности спектрального анализа ритма выявили дизадаптивные явления. В группе со стажем службы 7–15 лет ИН соответствовал норме и был сбалансирован со спектральными параметрами. В конце смены во всех группах отмечалось нарастание вагусного влияния. Обнаружены статистически значимые межгрупповые различия VLF и TF .

В результате анализа взаимосвязей ряда параметров СЗМР и ВСР в первой группе сильные связи не обнаружены, что, вероятно, свидетельствует о сложном процессе адаптации, перестройки функциональных возможностей в экстремальных условиях труда. Во второй группе в начале и конце смены выявлены четкая структура и однотипный характер связей, что, по всей видимости, обеспечивает стабильность функционального состояния и надежность работы. В третьей группе разнонаправленный характер сильных связей в начале и конце смены может свидетельствовать о десинхронизации вегетативного обеспечения и психофизиологической надежности.

Проведенная работа показала актуальность анализа вегетативного обеспечения сенсомоторного реагирования в экстремальной профессиональной среде. Гипотеза исследования частично подтвердилась. Работа показала, что тяжелый и напряженный труд оказывает разнонаправленное влияние на функциональное состояние пожарных-спасателей с различным стажем службы. Это необходимо учитывать при разработке программ для профилактики и коррекции дизадаптивных

явлений, а также для реабилитации сотрудников МЧС.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях.

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Благодарности. Автор выражает благодарность руководству Тверского государственного технического университета, руководству Тверского государственного медицинского университета, руководству Главного Управления МЧС по Тверской области за организацию в проведении исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ильин Е.П.* Психомоторная организация человека. СПб.: Питер, 2003. 384 с.
2. *Родыгина Ю.К., Дерягина Л.Е., Сидоров П.И., Соловьев А.Г.* Специфика сенсомоторных реакций сотрудников различных подразделений органов внутренних дел в зависимости от стажа службы // *Экология человека.* 2003. № 4. С. 12.
3. *Rodygina Yu.K., Deryagina L.E., Sidorov P.I., Soloviev A.G.* Specificity of sensorimotor reactions of employees of various departments of the internal affairs bodies depending on the length of service // *Human Ecology.* 2003. № 4. P. 12.
4. *Гуренкова Т.Н., Голубева О.Ю.* Методическое руководство по психодиагностическому обеспечению в Министерстве Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. М., 2011. 44 с.
5. *Гуренкова Т.Н., Голубева О.Ю.* Методическое руководство по проведению профессионального психологического отбора в МЧС России. М., 2013. 117 с.
6. *Шутова С.В., Муравьева И.В.* Сенсомоторные реакции как характеристика функционального состояния ЦНС // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки.* 2013. № 5. С. 2831.
7. *Попечителев Е.П.* Методики диагностики и частичной коррекции функционального состояния человека с использованием технологий тренировки и стимуляции его сенсомоторной реакции // *ВНМТ.* 2009. № 3. С. 203.
8. *Нехорошкова А.Н., Грибанов А.В., Депутат И.С.* Сенсомоторные реакции в психофизиологических исследованиях // *Журнал медико-биологических исследований.* 2015. № 1. С. 38.
9. *Бигунец В.Д.* К вопросу об оценке функционального состояния спасателей МЧС России // *Вестник психотерапии.* 2009. Т. 34. № 29. С. 97.
10. *Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В.* Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // *Вестник аритмологии.* 2001. № 24. С. 65.
11. *Федотов А.А., Акулова А.С., Лебедев П.А.* Теоретическая и клиническая оценка чувствительности показателей variability сердечного ритма // *Биофизика.* 2017. Т. 62. № 4. С. 392.
12. *Власенко Н.Ю., Макарова И.И., Беличенко Н.А.* Исследование показателей variability сердечного ритма и особенностей синдрома эмоционального выгорания у пожарных-спасателей // *Ульяновский медико-биологический журнал.* 2017. № 3. С. 165.
13. *Климов Е.А.* Пути в профессионализм. М.: Московский психолого-социальный институт: Флинта, 2003. 320 с.
14. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Р 2.2.2006-05 от 29 июля 2005 г. [Электронный ресурс] Библиотека ГОСТов и нормативов ОHRANATRUDA.RU – Режим доступа: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/46/46047/
15. *Михайлов В.М.* Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения. Иваново: Нейрософт, 2000. 200 с.
16. *Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology.* Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use // *Circulation.* 1996. V. 93. № 5. P. 1043.
17. *Гржибовский А.М.* Сравнение количественных данных трех и более независимых выборок с использованием программного обеспечения Statistica и SPSS: параметрические и непараметрические критерии // *Наука и Здравоохранение.* 2016. № 4. С. 5.
18. *Grzhibovsky A.M.* Comparison of quantitative data of three or more independent samples using Statistica and SPSS software: parametric and nonparametric criteria // *Science and Health.* 2016. № 4. P. 5.
19. *Гржибовский А.М., Иванов С.В., Горбатова М.А.* Сравнение количественных данных двух парных выборок с использованием программного обеспечения Statistica и SPSS: параметрические и непараметрические критерии // *Наука и Здравоохранение.* 2016. № 3. С. 5.
20. *Grzhibovsky A.M., Ivanov S.V., Gorbatova M.A.* Comparison of quantitative data of two paired samples using the Statistica and SPSS software: parametric and nonparametric criteria // *Science and Health.* 2016. № 3. P. 5.

19. *Унгурияну Т.Н., Гржибовский А.М.* Краткие рекомендации по описанию, статистическому анализу и представлению данных в научных публикациях // Экология человека. 2011. № 5. С. 55.
Unguryanu T.N., Grzhibovsky A.M. Brief recommendations on the description, statistical analysis and presentation of data in scientific publications // Human Ecology. 2011. № 5. P. 55.
20. *Зайцев А.В., Лупандин В.И., Сурнина О.Е.* Возрастная динамика времени реакции на зрительные стимулы // Физиология человека. 1999. Т. 25. № 6. С. 34.
Zaitsev A.V., Lupandin V.I., Surnina O.E. Age-related dynamics of the response time to visual stimuli // Human Physiology. 1999. V. 25. № 6. P. 34.
21. *Любомирский Л.Е.* Критические и сенситивные периоды сенсомоторного развития / Физиология развития человека: материалы междунар. конф. Секция 4. Москва, 22–24 июня 2009 г. М., 2009. С. 162.
22. *Крейк Ф., Бялысток И.* Изменение когнитивных функций в течение жизни // Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2006. Т. 3. № 2. С. 73.
Kreik F., Bialystok I. Change in cognitive functions during life // Psychology. Journal of the Higher School of Economics. 2006. V. 3. № 2. P. 73.
23. *Шлык Н.И.* Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов. Ижевск: Изд-во “Удмуртский университет”, 2009. 255 с.
24. *Баевский Р.М.* Теоретические и прикладные аспекты оценки и прогнозирования функционального состояния организма при действии факторов длительного космического полета / Актовая речь на заседании ученого совета ГНЦ РФ – ИМБП РАН. Москва, октябрь, 2005 г. 36 с.
25. *Бодров В.А.* Профессиональное утомление: фундаментальные и прикладные проблемы. М.: Изд-во “Институт психологии РАН”, 2009. 560 с.
26. *Медведев В.И., Леонова А.Б.* Функциональные состояния человека / Физиология трудовой деятельности. СПб.: Наука, 1993. С. 25.
27. *Бойцов С.А., Белозерцева А.Н., Кучмин А.Н. и др.* Возрастные особенности изменения показателей variability сердечного ритма у практически здоровых лиц // Вестник аритмологии. 2002. № 26. С. 57.

Peculiarities of Complex Visual-Motor Reaction and Variability of Heart Rhythm under the Influence of Working Load at Fire-Rescuers

N. Yu. Vlasenko*

Tver State Technical University, Tver, Russia

*E-mail: natalya_vlasenko@mail.ru

The study found that in the three groups of firefighters rescuers, distributed according to the length of service, at the beginning of the working day shift, the parameters of a complex visual-motor reaction indicated a favorable functional state and did not differ significantly. At the end of the shift, the level of psychophysiological reliability did not decrease in the group with the experience of 1–6 years (the stage of professional adaptation). In groups of 7–15 (the stage of established professionalism) and 16–22 years (the stage of possible professional deformations), this decrease is noted. Parameters of heart rate variability at the beginning of the shift in all groups were significantly different. The low level of the stress index indicated the control of the organism by an autonomous regulation loop in the presence of disadaptive phenomena in the parameters of spectral analysis of rhythm in firefighters-rescuers with an experience of 1–6 and 16–22 years. This parameter corresponded to the norm and was balanced with spectral indices in the group with a service life of 7–15 years. At the end of the shift, a rise in vagal influences was noted in all groups. Correlation analysis revealed a correspondence between the psychophysiological load and this vegetative maintenance in the group with the service record of 7–15 years. In the groups with the experience of 1–6 years and 16–22 years the desynchronization phenomena were detected.

Keywords: complex visual-motor reaction, heart rate variability, fire-rescuers, professional experience.