

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

© СМОЛЯКОВ Ю.Н., 2020

Смоляков Ю.Н.^{1,2}

ВЗАИМОСВЯЗИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ С ВАРИАБЕЛЬНОСТЬЮ СЕРДЕЧНОГО РИТМА И ГЕМОДИНАМИКОЙ У МЕДПЕРСОНАЛА СТАНЦИИ СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Читинская государственная медицинская академия»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, 672000, г. Чита;

²Иновационная клиника «Академия здоровья», 672038, г. Чита

Выполнение профессиональных обязанностей персоналом станции скорой медицинской помощи (ССМП) в критических условиях определяет комплекс неспецифических адаптационных реакций, происходящих в организме. Адаптационные механизмы затрагивают в первую очередь ЦНС и, как следствие, вегетативную нервную систему и гемодинамику.

Материал и методы. В исследовании приняли участие 35 работников станции скорой медицинской помощи. Среди обследуемых было 19 мужчин и 16 женщин в возрасте от 20 до 55 лет ($34,8 \pm 12,8$ лет). Проведен анализ электроэнцефалограмм (ЭЭГ), вариабельности сердечного ритма (ВСР) и микроциркуляторной гемодинамики до начала суточного дежурства и сразу после него. Статистическими методами оценена динамика количественных показателей всех методов и расчет корреляционных взаимоотношений внутри методов и между ними.

Результаты. ЭЭГ продемонстрировала снижение общей активности, преимущественно за счет тета-активности (с $28,1$ ($16,7-41,1$) до $16,6$ ($11,3-22,3$) $\mu\text{В}^2/\text{Гц}$, $p = 0,011$). Метод ВСР демонстрирует значимое снижение средних показателей ЧСС (с $81,8$ ($74,9-88,5$) до $77,1$ ($69,7-81,2$) уд в 1 мин, $p = 0,012$) и сдвиг вегетативного баланса в сторону парасимпатических влияний. Из гемодинамических индексов значимо снизилась величина низкочастотной компоненты НП (с 140 ($121-163$) до 132 ($103-156$), $p = 0,009$) и, как следствие, изменилось перераспределение нормированных показателей ($\text{RH}12$, $\text{RH}13$). Результат комплексного сравнения сведен в единую корреляционную матрицу, в которой отражены изменения взаимосвязей до и после смены.

Обсуждение. При обзорной оценке внутрикластерных взаимосвязей (внутри одного метода) до и после смены отмечается незначительное отличие их структуры. Выявленные же внекластерные взаимосвязи демонстрируют большие различия в исследуемых периодах оценки. Напряженная функциональная нагрузка персонала ССМП в течение суточной смены оказывает значительное дестабилизирующее влияние на работу регулирующих систем (центральное и вегетативное звенья).

Заключение. Адаптационные реакции демонстрируют стрессовый характер исследуемой нагрузки, отражаясь в микроциркуляторных гемодинамических процессах, изменения которых значимо продемонстрированы в исследовании.

Ключевые слова: станция скорой медицинской помощи; эмоциональное выгорание; ЭЭГ; ВСП; гемодинамика.

Для цитирования: Смоляков Ю.Н. Взаимосвязи показателей электроэнцефалограммы с вариабельностью сердечного ритма и гемодинамикой у медперсонала станции скорой медицинской помощи. *Медицина экстремальных ситуаций.* 2020; 22(1): 84-90.

Для корреспонденции: Смоляков Юрий Николаевич, кандидат мед. наук, доцент, заведующий кафедрой медицинской физики и информатики ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия», 672038, г. Чита. E-mail: smolyakov@rambler.ru

Smolyakov Yu.N.^{1,2}

THE RELATIONSHIP OF EEG INDICES WITH HEART RATE VARIABILITY AND HEMODYNAMICS IN THE MEDICAL STAFF OF THE AMBULANCE STATION

¹Chita State Medical Academy, Chita, 672000, Russian Federation;

²Innovative clinic "Academy of Health", Chita, 672038, Russian Federation

The critical conditions for the performance of professional duties by the personnel of the ambulance station (AS) determine the complex of non-specific adaptive responses developing in the body. Adaptation mechanisms primarily affect the central nervous system (CNS) and, as a consequence, the autonomic nervous system and hemodynamics.

Material and methods. The study involved 35 employees of the ambulance station (AS). Among the subjects there were 19 men and 16 women aged from 20 to 55 years (34.8 ± 12.8 years). The analysis of electroencephalograms (EEG), heart rate variability (HRV) and microcirculatory hemodynamics before the start of daily duty and immediately after it. Statistical methods evaluated the dynamics of quantitative indices of all methods and calculate the correlation relationships within their quantitative indices and between them.

The results of the study. EEG showed a decrease in total activity, mainly due to theta activity (from $28.1 [16.7-41.1]$ to $16.6 [11.3-22.3]$ $\mu V^2/Hz$, $p = 0.011$). The HRV method demonstrates a significant decrease in average heart rates (from $81.8 [74.9-88.5]$ to $77.1 [69.7-81.2]$ bpm, $p=0.012$) and a shift in the autonomic balance towards parasympathetic influences. Of the hemodynamic indices, the low-frequency component H11 significantly decreased (from $140 [121-163]$ to $132 [103-156]$, $p=0.009$), and as a result, the redistribution of normalized indices (RH12, RH13) changed. The result of a comprehensive comparison is reduced to a single correlation matrix, which displays the changes in the relationships before and after the job.

The discussion of the results. In the overview assessment of intracluster relationships (within the same method), an insignificant difference in their structure is noted before and after the change. The revealed extracenter relationships demonstrate large differences in the studied periods of assessment. The intense functional load of AS personnel during the daily duty has a significant destabilizing effect on the functioning of regulatory systems (central and autonomous links).

Conclusion. Adaptation responses demonstrate the stress character of the tested load, reflected in microcirculatory hemodynamic processes, the changes of which were significantly demonstrated in the study.

Keywords: ambulance station; emotional burnout; EEG; HRV; hemodynamics.

For citation: Smolyakov Yu.N. The relationship of EEG indices with heart rate variability and hemodynamics in the medical staff of the ambulance station. *Meditsina ekstremal'nykh situatsiy (Medicine of Extreme Situations, Russian journal)* 2020; 22(1): 84-90. (In Russian)

For correspondence: Yury N. Smolyakov, MD, Ph.D., Head of the Department of Medical Physics and Informatics of the Chita State Medical Academy, Chita, 672000, Russian Federation; Innovative clinic "Academy of Health", Chita, 672038, Russian Federation. E-mail: smolyakov@rambler.ru chief

Information about authors: <https://orcid.org/0000-0001-7920-7642>; SPIN-code: 7440-6632, ResearcherID: R-5740-2017; Scopus: 57200938643

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

Acknowledgments. The study had no sponsorship.

Received November 14, 2019

Accepted February 28, 2020

Выполнение профессиональных обязанностей персоналом станции скорой медицинской помощи (ССМП) в критических условиях определяет комплекс неспецифических адаптационных реакций, происходящих в организме. В ответ на стрессорные факторы наиболее быстро формируются и особенно ярко проявляются ответные реакции центральной нервной системы (ЦНС) [1, 2] и, как следствие, меняется вегетативный баланс, благодаря чему изменяется течение физиологических функций, в том числе происходят и гемодинамические сдвиги [3]. Адаптационная перегрузка ЦНС приводит к нарушению сложной операционной деятельности и нарастающему к концу смены числу ошибок в принятии врачебных решений. В различных исследованиях подобное состояние описывается термином «синдром выгорания» [4, 5]. Однако это чрезмерно расширенное понятие не раскрывает конкретных нейрофизиологических и психосоматических механизмов указанных сдвигов. Чаще всего для оценки психоэмоционального статуса (ПЭС) используются психологические тесты в формате анкетирования [4–6]. В то же время мы считаем, что применение аппаратных методов исследования деятельности ЦНС (электроэнцефалография – ЭЭГ), вегетативной нервной системы (вариабельность сердечного ритма – ВСР) и микроциркуляторной гемодинамики (лазерная спекл-интерферометрия – ЛСИ, Dynamic Light Scattering – DLS) должно значительно повысить объективность результатов оценки ПЭС медперсонала скорой помощи. Вот почему предмет нашего исследования – изменение характера ЭЭГ, ВСР и микроциркуляции у работников ССМП в процессе суточного дежурства.

Материал и методы

В исследовании приняли участие 35 работников (врачебный и средний медицинский персонал) ССМП. Среди обследуемых было 19 мужчин и 16 женщин в возрасте от 20 до 55 ($34,8 \pm 12,8$) лет.

В ходе работы использовался регистратор «Энцефалан-ЭЭГР-19/26» (Медиком, г. Таганрог). ЭЭГ-измерения проводились, согласно международной схеме 10–20 [7], в шести отведениях: F3, F4 – лобные (Frontalis); T3, T4 –

височные (Temporalis); P3, P4 – теменные (Parietalis), в состоянии покоя на протяжении 3 мин. Запись выполнялась утром перед заступлением на смену и на следующий день после передачи смены.

Сырые ЭЭГ-сигналы после очистки от двигательных и мышечных артефактов подвергались спектральному разложению с использованием нелинейного мультиконусного метода (multitaper) [8]. В качестве исследуемых показателей использовались следующие: магнитуда (мощность) ритмических диапазонов (мкВ²/Гц) – тета-ритм (THETA, 4–8 Гц), альфа-ритм (ALPHA, 8–12 Гц), низкочастотная часть альфа-ритма (LOWA, 8–10 Гц), высокочастотная его часть (HIGHA, 10–12 Гц), бета-ритм (BETA, 12–25 Гц), суммарная мощность (TAB = THETA+ALPHA+BETA, 4–25 Гц), долевые части ритмов в общей мощности (THETA% = THETA / TAB · 100%, ALPHA% = ALPHA/TAB · 100%, BETA% = BETA/TAB · 100%, LOWALPHA% = LOWA / ALPHA · 100%, HIGHALPHA% = HIGHA / ALPHA · 100%), отношение тета/бета (THETA/BETA Ratio, TBR), тета/альфа (THETA/ALPHA Ratio, TAR) и альфа/бета (ALPHA/BETA Ratio, ABR), отношение частей альфа ритма (LOWA/HIGHA Ratio, LHAR). Рассчитанные показатели усреднялись по всем отведениям.

Гемодинамический DLS-сигнал интегрировался в виде трех гемодинамических индексов: HI (Hemodynamic Indexes). Используется методика спектрального разложения сигнала быстрым преобразованием Фурье (Fast Fourier Transform, FFT) на частотные компоненты, связанные с гемодинамическими источниками различной скорости сдвига слоев кровотока. Низкочастотный (1–300 Гц) индекс (HI1) определялся медленным межслоевым взаимодействием, высокочастотная (3000–24000 Гц) область (HI3) характеризовала быстрые процессы сдвига слоев. HI2 (300–3000 Гц) занимает промежуточное положение (прекапиллярный и капиллярный кровоток) [9]. Суммарный индекс HI = HI1+HI2+HI3 демонстрирует объем потока, охваченного облучением датчика. Нормированные индексы RHI1, RHI2, RHI3 обозначают относительный вклад каждой компоненты в общие динамические процессы

($RH11 = H11/H1$, $RH12 = H12/H1$, $RH13 = H13/H1$). Для оценки тенденций перераспределения кровотока между быстрыми и медленными процессами введен показатель отношения $H11/H13$ [10–13].

Из пульсовой компоненты ЛСИ сигнала извлекалась информация о вариабельности RR-интервалов, и рассчитывались индикаторы BCP [14]. Измерения производились в течение 3 мин. Используются следующие временные показатели: HR (Heart Rate) – частота сердечных сокращений (ЧСС) (уд в 1 мин); SDRR (Standard Deviation of RR intervals) – стандартное отклонение всех интервалов RR (м/с) (отражает все долговременные компоненты и циркадные ритмы, ответственные за вариабельность); RMSSD (Root Mean Square of the Successive Differences) – квадратный корень из средней суммы квадратов разностей RR-интервалов (мс) (относится к изменениям в краткосрочном периоде и отражает отклонения в тоне автономной нервной системы, являющиеся преимущественно вагус-опосредованными). Частотный анализ представлен индексами: LF – мощность в диапазоне низких частот (0,04–0,15Hz) (mc^2), обусловленным активностью симпатического отдела и отражающим время задержки барорефлекторной петли; HF – мощность в диапазоне высоких частот (0,16–0,5 Hz) (mc^2), связанный с дыхательными движениями и, главным образом, обусловленным вагусной активностью; LF/HF – отношение мощностей (отражает общий симпатовагусный баланс). Нелинейный анализ вариабельности содержит следующие индексы: CVI (Cardiac Vagal Index) – нелинейный парасимпатический индекс; CSI (Cardiac Sympathetic Index) – нелинейный симпатический индекс [15].

Статистический анализ и графическое отображение выполнены с помощью языка R (<http://cran.r-project.org>) версии 3.6.1 [16]. Для выявления взаимосвязи использовался критерий ранговой корреляции Спирмена [17]. Групповые данные представлены в формате Медиана (Me), 25% перцентиль (P25), 75% перцентиль (P75). Для сравнения групп использовался парный критерий Вилкоксона для зависимых выборок (Wilcoxon signed rank test) [18].

Полученные данные представлены графически в виде двух корреляционных полуматриц, отражающих корреляционные взаимосвязи исследуемых показателей. В правом верхнем углу (отделяемом диагональю, проходящей слева направо и сверху-вниз) расположена полуматрица корреляций до смены, в левом нижнем – после смены. Дополнительными квадратами обозначены 3 кластера, характеризующие взаимодействие показателей в пределах одного из 3 использованных методов – ЭЭГ, ЛСИ и BCP. Остальное поле матрицы занимают показатели корреляционных связей между различными изучаемыми параметрами. На рисунке отображены только значимые взаимосвязи ($p < 0,05$).

Результаты

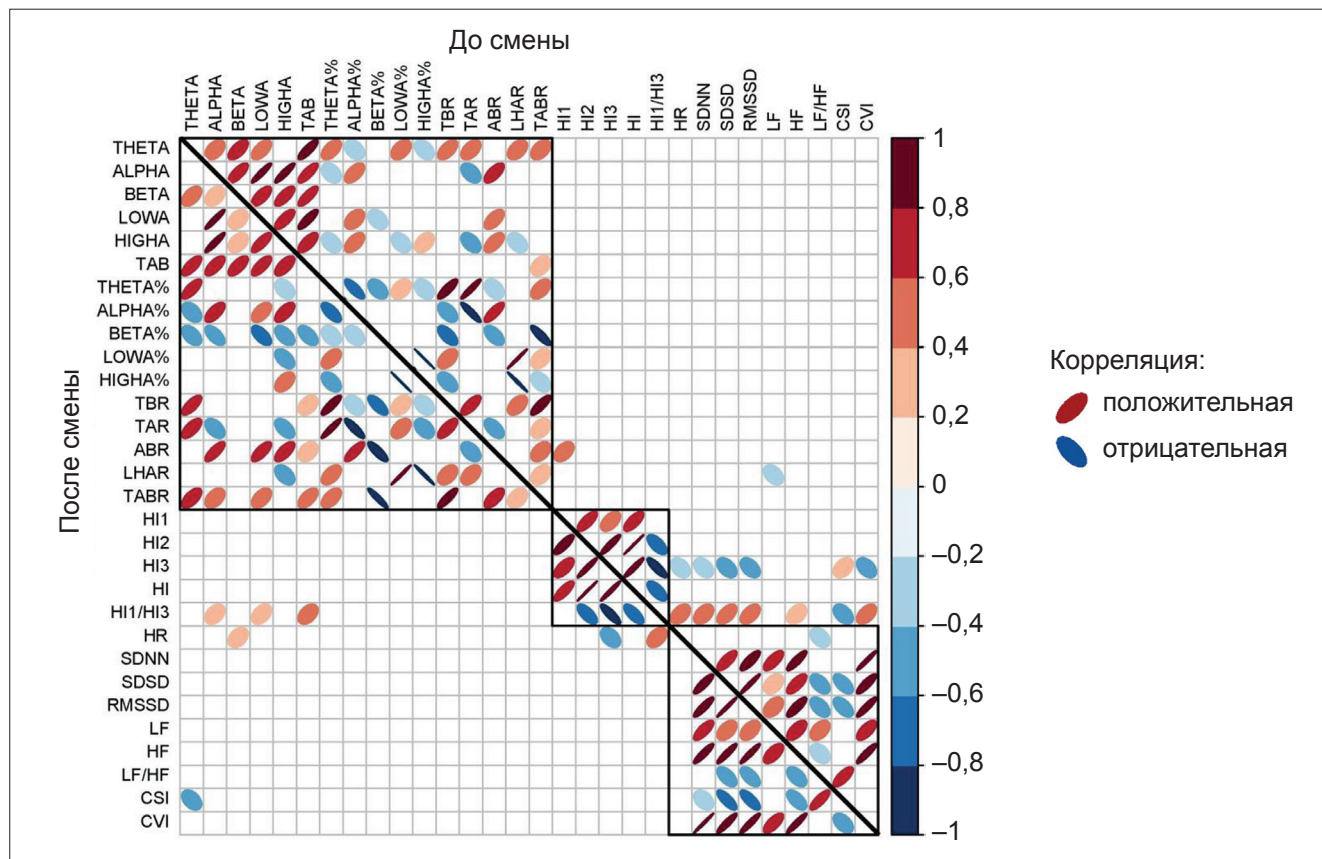
Все корреляционные взаимоотношения объединены в корреляционную матрицу и представлены на рисунке.

Для полноценного восприятия корреляционных взаимосвязей в таблице приведена сравнительная оценка количественных показателей по всем исследуемым методам.

При обзорной оценке внутрикластерных взаимосвязей до и после смены отмечается незначительное отличие их структуры (высокая симметричность относительно диагонали). Исключением могут служить: отрицательная взаимосвязь нелинейных индексов CSI (симпатический) и CVI (парасимпатический) после смены ($r = -0,463$; $p = 0,009$), положительная связь между тета и альфа активностью до смены ($r = 0,441$; $p = 0,008$), отрицательная между вегетативным балансом LF/HF и частотой сердечных сокращений HR до смены ($r = -0,364$; $p = 0,044$).

Выявленные нами внекластерные взаимосвязи демонстрируют большие различия в исследуемых периодах оценки.

Так, ЭЭГ-показатели до начала смены коррелируют только в двух вариантах: с гемодинамическими индексами в медленной гемодинамике (H11) и ЭЭГ – отношения альфа/бета (ABR: $r = 0,434$; $p = 0,015$), пропорции верхней и нижней частей альфа-диапазона (LHAR) и низкочастотной компонентой BCP (LF: $r = -0,381$; $p = 0,034$). При этом заметны взаимосвязи между быстрым гемодинамическим



Корреляционная матрица показателей ЭЭГ, ЛСИ и ВСР до смены (правый верхний треугольник) и после смены (левый нижний треугольник).

индексом (НІЗ) и большинством показателей ВСР. Так как НІЗ находится в знаменателе соотношения, зеркальная картина (противоположное направление связей) проявляется также в относительном индексе гемодинамики (НІ1/НІЗ).

После смены картина взаимосвязей значительно меняется. Гемодинамическое отношение НІ1/НІЗ положительно коррелирует с ЭЭГ-показателем альфа-активности (ALPHA: $r = 0,366$; $p = 0,042$), ее низкочастотной частью (LOWA: $r = 0,394$; $p = 0,028$) и общей активностью во всех диапазонах (TAB: $r = 0,417$; $p = 0,020$). Одновременно появляется положительная взаимосвязь ЧСС с уровнем бета-активности ($r = 0,357$; $p = 0,046$). ВСР обнаруживает лишь отрицательную корреляцию тета-ритма (THETA) с нелинейным симпатическим индексом (CSI: $r = -0,410$; $p = 0,022$). Из многочисленных, обнаруженных до смены связей с ВСР гемодинамического индекса НІЗ, сохраняется только ЧСС (HR: $r = -0,406$; $p = 0,023$).

Сравнительный анализ показателей ЭЭГ, ВСР и гемодинамики			
Показатель	До смены	После смены	<i>p</i>
ЭЭГ			
THETA	28,1 (16,7–41,1)	16,6 (11,3–22,3)	0,011
BETA	12 (8,65–17)	10,7 (8,52–11,9)	0,029
TAB	55,7 (35,3–75,9)	41,2 (33,2–54,4)	0,013
НІ			
НІ1	140 (121–163)	132 (103–156)	0,009
RНІ2	0,499 (0,49–0,528)	0,491 (0,463–0,512)	0,026
RНІ3	0,31 (0,276–0,351)	0,332 (0,291–0,36)	0,020
ВСР			
HR	81,8 (74,9–88,5)	77,1 (69,7–81,2)	0,012
SDNN	67 (52,5–77,8)	71,2 (59–86,1)	0,024
RMSSD	71,4 (59,8–92,7)	87,7 (57,1–109)	0,040
LF	791 (394–1370)	996 (581–1580)	0,038
HF	662 (480–1230)	908 (583–1270)	0,045
CVI	4,82 (4,63–4,92)	4,89 (4,72–5,06)	0,037
<i>Примечание.</i> Представление данных в формате Me (P25–P75). Сравнение групп (<i>p</i>) проводилось по критерию Вилкоксона для зависимых групп. Отражены только показатели, продемонстрировавшие значимые различия.			

Обсуждение

Обнаруженные нами изменения внутрикластерных взаимосвязей после смены могут быть ассоциированы с перераспределением вегетативного баланса. Исчезновение корреляции между тета- и альфа-активностью после смены определяется значимым снижением тета-активности ($p = 0,011$).

Положительная взаимосвязь между гемодинамическим индексом Н1/Н3, отражающим перераспределение (баланса) сдвиговых скоростей капиллярного кровотока и показателями альфа-активности обусловлена одновременным снижением как магнитуды альфа ритма, так и индекса Н1/Н3. Особенно заметно изменение микроциркуляторного баланса при оценке его связей с показателями ВСР, которые значимо проявляются лишь до смены. После смены данные корреляционные взаимоотношения исчезают, вследствие реализации дополнительных адаптационных механизмов вегетативной регуляции и возможным истощением регулирующих влияний [19].

Изменения последнего обусловлены значительным снижением после смены медленных (в том числе пристеночных) межслоевых сдвигов (Н1) [11]. Положительная корреляция между ЧСС (HR) и бета-активностью после смены вызвана избыточными реакциями торможения ЦНС, проявляющимся отрицательным хронотропным действием [20]. Отрицательная взаимосвязь симпатической и тета-активности после смены демонстрирует усиление симпатического влияния при одновременном снижении магнитуды тета-ритма (ассоциированной с процессами занесения информации в память) [21].

Заключение

Единая матрица корреляционных взаимосвязей позволила сформировать комплексный взгляд на совокупность наблюдаемых взаимодействий и ее изменчивость под нагрузкой. Последовательная описательная оценка большого множества корреляционных взаимосвязей представляется более громоздким. Единый комплексный взгляд на состояние трех систем организма медработника в динамическом наблюдении позволил внести количественные критерии,

которые можно использовать в дальнейшем при описании такого распространенного феномена, как «выгорание» специалиста и перенести акцент с эмоционально-психологических реакций на физиологические механизмы (память, внимание, кровообращение, вегетативная регуляция). Понимание физиологических основ «выгорания» позволит точнее оценить его влияние на выполнение и качество профессиональных функций.

Напряженная функциональная нагрузка персонала ССМП в течение суточной смены оказывает значительное дестабилизирующее влияние на работу регулирующих систем (центральное и вегетативное звенья). Активные адаптационные реакции демонстрируют стрессовый характер исследуемой нагрузки, отражаясь в микроциркуляторных гемодинамических процессах, изменения которых значимо продемонстрированы в исследовании.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

ЛИТЕРАТУРА

(пп. 2, 3, 7–11, 14–21 см. в REFERENCES)

1. Карамова Л.М., Красовский В.О., Ахметшина В.Т., Хафизова А.С., Власова, Н.В., Буляков Р.М. Профессиональный риск здоровья медицинских работников станции скорой медицинской помощи. *Медицина труда и экология человека*. 2017; 4(12): 28-36.
4. Карамова Л.М., Нафиков Р.Г. Синдром профессионального выгорания у медицинских работников станции скорой медицинской помощи. *Вестник Российского государственного медицинского университета*. 2013; 5-6: 133-5.
5. Хунафин С.Н., Миронов П.И., Зиганшин М.М., Баскакова Н.Д. Характеристика синдрома профессионального выгорания у врачей выездных бригад скорой медицинской помощи. *Скорая медицинская помощь*. 2006; 1: 37-9.
6. Баранов А.Л., Колесникова С.М., Вакулова Е.В., Пустовой В.С., Воробьев А.А. Стресс и общий адаптационный синдром у сотрудников станций скорой медицинской помощи: разные регионы, одинаковые проблемы. *Здравоохранение Дальнего Востока*. 2017; 3: 11-4.
12. Смоляков Ю.Н., Кузник Б.И., Раменский В.В., Нольфин Н.А., Федоренко Е.В., Михаханов М.М. Адаптационная динамика реологических свойств крови у медицинских работников, оказывающих экстренную помощь. *Тромбоз, гемостаз и реология*. 2019; 79(3): 10-15. DOI: 10.25555/THR.2019.3.0884.

13. Смоляков Ю.Н., Калашникова С.А., Федоренко Е.В., Нольфин Н.А., Михаханов, М.М. Динамические реакции активности коры головного мозга и микроциркуляции на стимулированный стресс. *Забайкальский медицинский вестник*. 2017; 2: 148-53.

REFERENCES

1. Karamova L.M., Krasovsky V.O., Akhmetshina V.T., Khafizova A.S., Vlasova, N.V., Bulyakov R.M. Occupational health risk of medical personnel of the ambulance station. *Medicina truda i jekologija cheloveka*. 2017; 4(12): 28-36. (in Russian)
2. Radley J., Morilak D., Viau V., Campeau S. Chronic stress and brain plasticity: mechanisms underlying adaptive and maladaptive changes and implications for stress-related CNS disorders. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2015;58:79-91. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2015.06.018.
3. Pries A.R., Reglin B., Secomb T.W. Structural adaptation of microvascular networks: functional roles of adaptive responses. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 2001; 281(3): H1015-H1025. DOI: 10.1152/ajpheart.2001.281.3.H1015.
4. Karamova L.M., Nafikov R.G. Burnout syndrome among medical personnel of an ambulance station. *Vestnik Rossijskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta*. 2013; 5-6: 133-5. (in Russian)
5. Khunafin S.N., Mironov P.I., Ziganshin M.M., Baskakova N.D. Characteristics of the syndrome of professional burnout by doctors of emergency ambulance teams. *Skoraja medicinskaja pomoshh'*. 2006; 1: 37-9. (in Russian)
6. Baranov A.L., Kolesnikova S.M., Vakulova E.V., Pustovoi V.S., Vorobev A.A. Stress and general adaptation syndrome among ambulance staff: different regions, the same problems. *Zdravoohranenie Dal'nego Vostoka*. 2017; 3: 11-4. (in Russian)
7. Binnie C.D., Dekker E., Smit A., Van der Linden G. Practical considerations in the positioning of EEG electrodes. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. 1982; 53(4): 453-8. DOI: 10.1016/0013-4694(82)90010-4.
8. Babadi B., Brown E.N. A review of multitaper spectral analysis. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2014; 61(5): 1555-64. DOI: 10.1109/TBME.2014.2311996.
9. Fine I., Kaminsky A. Speckle-based measurement of the light scattering by red blood cells in vivo *Dynamics and Fluctuations in Biomedical Photonics VIII. – International Society for Optics and Photonics*. 2011; 7898: 78980A. DOI: 10.1117/12.881991.

10. Fine I., Kaminsky A. V., Shenkman L. A new sensor for stress measurement based on blood flow fluctuations. *Dynamics and Fluctuations in Biomedical Photonics XII*. SPIE Press, 2016; 9707: 970705. DOI: 10.1117/12.2212866.
11. Kuznik B.I., Smolyakov Y.N., Tsybikov N.N., Maksimova O.G., Malinina A.V., Davydov S.O., Shenkman L., Kaminsky A., Fine I. Impact of fitness status on the optically measured hemodynamic indexes. *Journal of Healthcare Engineering*. 2018; 2018: 1674931. DOI: 10.1155/2018/1674931
12. Smolyakov Y.N., Kuznik B.I., Ramensky V.V., Nolfin N.A., Fedorenko E.V., Mikhakhanov M.M. The adaptive dynamics of the rheological properties of blood in emergency medical workers. *Tromboz, gemostaz i reologija*. 2019; 79(3): 10-5. (in Russian) DOI: 10.25555/THR.2019.3.0884.
13. Smolyakov Y.N., Kalashnikova S.A., Fedorenko E.V., Nolfin N.A., Mikhakhanov, M.M. Dynamic responses of cerebral cortex activity and microcirculation to stimulated stress. *Zabajkal'skij medicinskij vestnik*. 2017; 2: 148-53. (in Russian)
14. Shaffer F., Ginsberg J.P. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in public health*. 2017; 5: 258. DOI: 10.3389/fpubh.2017.00258.
15. Barbieri R., Scilingo E.P., Valenza G. Complexity and nonlinearity in cardiovascular signals. Springer. 2017.
16. R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <https://www.R-project.org> (Accessed 30 October 2019).
17. Spearman C. The proof and measurement of association between two things. *American Journal of Psychology*. 1904; 15(1): 72–101. DOI:10.2307/1412159. JSTOR 1412159.
18. Wilcoxon F. Individual comparisons by ranking methods. *Breakthroughs in Statistics. Springer Series in Statistics*. 1945: 196-202. DOI: 10.1007/978-1-4612-4380-9–16.
19. Fink G. Stress: Neuroendocrinology and Neurobiology: Handbook of Stress Series. Elsevier. 2017.
20. Jäntti V., Yli-Hankala A. Correlation of instantaneous heart rate and EEG suppression during enflurane anaesthesia: synchronous inhibition of heart rate and cortical electrical activity? *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*. 1990; 76(5): 476-79. DOI: 10.1016/0013-4694(90)90101-0.
21. Scholz S., Schneider S.L., Rose M. Differential effects of ongoing EEG beta and theta power on memory formation. *PloS one*. 2017; 12(2): e0171913. DOI: 10.1371/journal.pone.0171913.

Поступила 14 ноября 2019
Принята в печать 28 февраля 2020