

УДК (612.13+612.111):616-057

ОСОБЕННОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ И ПАРАМЕТРОВ ЭРИТРОЦИТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ

© 2018 г. Н. Ю. Власенко, *И. И. Макарова

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»;
*ФГБОУ ВО «Тверской государственный медицинский университет», г. Тверь

Цель – исследование особенностей центральной гемодинамики и параметров эритроцитов при воздействии экстремальных профессиональных факторов у пожарных-спасателей с разным сроком службы в Федеральной противопожарной службе (ФПС) МЧС по Тверской области. *Методы.* В обследовании участвовали 240 пожарных-спасателей мужского пола в возрасте от 25 до 47 лет, которые были распределены по трем группам в зависимости от стажа: 1–6, 7–15, 16–25 лет службы. В начале рабочей сменной смены по методике тетраполярной грудной реографии определяли параметры центральной гемодинамики. С помощью гематологического анализатора подсчитывали абсолютное содержание эритроцитов капиллярной крови. По специальной методике определяли деформируемость их мембраны. *Результаты.* В первой группе в отличие от других большинство гемодинамических параметров отклонялись от нормативных значений, что расценивалось как дисбаланс между объемно-временными показателями кровообращения и потребностями организма в условиях экстремальной профессиональной нагрузки. Обнаружено постепенное формирование адекватного гемодинамического профиля с увеличением стажа службы, что позволяет сделать вывод о мобильном и реактивном характере гемодинамических сдвигов в организме. Выраженные гематологические изменения, проявляющиеся в уменьшении деформируемости мембраны эритроцитов и увеличении ее жесткости, обнаружены в третьей группе. Вероятно, эти закономерности на последнем этапе службы отражают консервативный характер развития негативных сдвигов. *Вывод:* сравнение динамики физиологических изменений у пожарных-спасателей трех групп с разным сроком службы в МЧС обнаружило реактивный характер гемодинамических сдвигов и консервативный характер гематологических проявлений.

Ключевые слова: объемно-временные показатели кровообращения, деформируемость мембраны эритроцитов, пожарные-спасатели, экстремальные условия труда

PECULIARITIES OF CENTRAL HEMODYNAMICS AND PARAMETERS OF ERYTHROCYTES UNDER EXPOSURE TO EXTREME PROFESSIONAL FACTORS

N. Y. Vlasenko, *I. I. Makarova

Tver State Technical University; *Tver State Medical University, Tver, Russia

The aim: to study the peculiarities of central hemodynamics and erythrocyte parameters under the influence of extreme occupational factors in firefighters with different lifetimes in the Federal Fire Service (FPS) of the Ministry of Emergency Measures for the Tver Region. *Methods:* 240 firefighters (age 25-47 years) were divided into three groups depending on the length of service: 1-6, 7-15, 16-25 years. Parameters of central hemodynamics were determined at the beginning of the working day shift according to the method of tetrapolar thoracic rheography. The absolute content of red blood cells in capillary blood was counted using a blood analyzer. Special techniques were used to determine deformability of their membrane. *Results:* most hemodynamic parameters deviated from the statutory values in the first group in comparison with other groups. This was regarded as an imbalance between the volume-time indices of the blood circulation and the organism's needs under conditions of extreme occupational stress. Gradual formation of an adequate hemodynamic profile was detected with an increase in the length of service. This allows us to conclude about the mobile and reactive nature of hemodynamic changes in the body. Expressed hematologic changes, manifested in a decrease in the erythrocyte membrane deformability and increase in its rigidity, were found in the third group. The observed patterns at the last stage of the service probably reflect the conservative nature of negative shifts development. *Conclusion:* comparison of the dynamics of physiological changes in firefighters-rescuers of three groups with different service life in the Ministry of Emergency Measures revealed the reactive nature of hemodynamic changes and the conservative nature of hematological manifestations.

Keywords: volume-time indices of blood circulation, deformability of the erythrocyte membrane, fire-rescuers, extreme working conditions

Библиографическая ссылка:

Власенко Н. Ю., Макарова И. И. Особенности центральной гемодинамики и параметров эритроцитов при воздействии экстремальных профессиональных факторов // Экология человека. 2018. № 8. С. 4–10.

Vlasenko N. Yu., Makarova I. I. Peculiarities of Central Hemodynamics and Parameters of Erythrocytes under Exposure to Extreme Professional Factors. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2018, 8, pp. 4-10.

Изучение особенностей адаптации, реактивности и устойчивости человека к различным факторам внешней среды является чрезвычайно важным направлением в адаптационной физиологии, медицине и психологии труда. Это связано с необходимостью выявления механизмов и путей формирования, опре-

деления критериев оценки и поиска оптимальных методов повышения резервных возможностей организма. Уровень ресурсов и способность адаптироваться в конечном итоге определяют здоровье человека. В ряде случаев величина воздействующих факторов оказывается столь значительной, что вызывает пере-

напряжение адаптационных возможностей организма. Несоответствие функциональных возможностей организма требованиям среды может привести к срыву процесса адаптации и неблагоприятным последствиям, связанным с ухудшением здоровья [1, 11].

В последние годы особое внимание с точки зрения оценки адаптационных ресурсов в физиологии, психологии, медицине, гигиене и охране труда уделяется исследованиям в области экстремальной профессиональной среды [3, 8, 20]. В таких условиях трудятся пожарные-спасатели. При оценке условий и характера труда спасателей было установлено, что их профессиональная деятельность протекает в двух основных режимах: повышенной готовности и ожидания и режиме ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС). В соответствии с руководством Р2.2.2006-05 итоговый класс тяжести и напряженности труда спасателей в режиме ликвидации последствий ЧС по наиболее значимым факторам производственного процесса классифицируется как вредный (тяжелый) труд 2-й степени (3.2 класс условий труда) и напряженный опасный (экстремальный) труд, соответствующий 3 степени 3 класса или 4 классу (3.3.–4) [16]. При ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) энерготраты возрастают до 5 000–8 400 ккал в сутки и более, поскольку при этом возникают дополнительные физические нагрузки, изменения положения тела при работе, перемещение в пространстве [2, 18]. В режиме ликвидации последствий ЧС высока не только тяжесть трудового процесса, физическая динамическая нагрузка, но и напряженность труда спасателей: возрастают интеллектуальные, сенсорные и эмоциональные нагрузки, может меняться режим работы [4, 5]. У сотрудников МЧС такие условия службы предъявляют особые требования к состоянию здоровья в целом и сердечно-сосудистой системы организма в частности. При этом параметры центральной гемодинамики выступают в качестве значимых индикаторов.

Важнейшим фактором, определяющим состояние микроциркуляции, являются реологические свойства крови. Эритроциты при этом являются основным предиктором ее реологии [9, 19, 21, 22]. Основным механизмом осложнения кровотока в капиллярном русле принято считать изменения вязкости крови при нарушениях эластичности эритроцитарных мембран [10, 14, 24, 25]. Напряжение гомеостаза при воздействии неблагоприятных факторов приводит к ее снижению или потере, потенцируя жесткость или ригидность клеток. Этот процесс запускает изменение гемодинамического баланса в организме, что, как следствие, приводит к неадекватности работы сердечно-сосудистой системы потребностям организма.

На сегодняшний день особенности влияния экстремальных профессиональных факторов, вызывающих изменения в системе соотношения гемодинамических и гематологических показателей, изучены мало.

Целью настоящей работы явилось исследование особенностей центральной гемодинамики и параме-

тров эритроцитов при воздействии экстремальных профессиональных факторов у пожарных-спасателей с разным сроком службы в Федеральной противопожарной службе (ФПС) МЧС по Тверской области.

Методы

Научное исследование выполнено в пожарных частях № 2, 3, 4 ФПС МЧС по Тверской области в 2015 г. В обследовании приняли участие 240 пожарных-спасателей мужского пола в возрасте от 25 до 47 лет со стажем службы от 1 до 25 лет, которые были распределены по трем группам в зависимости от стажа службы.

Первую группу составили 82 пожарных-спасателя со стажем службы от 1 до 6 лет в возрасте 24–33 лет. За это время службы происходит поэтапное (через каждые 2 года) присвоение классов пожарных: третьего, второго и первого. Этот период соответствует адаптации и овладению профессией.

Вторая группа была представлена 70 пожарными-спасателями со стажем службы 7–15 лет в возрасте 31–45 лет. За это время формируется высокий уровень профессионализма, характеризующийся максимальной эффективностью, устойчивостью и надежностью в работе. Присвоенный наивысший класс наставника имеют 23 сотрудника этой группы.

В третью группу входили 88 пожарных-спасателей со стажем службы 16–25 лет в возрасте 37–47 лет. Для специалистов экстремального профиля в этот период возможно развитие профессионального выгорания, когда могут проявляться дизадаптивные процессы, связанные с истощением ресурсов организма и возрастными изменениями [12].

Режим службы обследуемых составлял цикл из одних рабочих и трех суток отдыха. Обследование проводили в начале рабочей суточной смены с 8-30 до 9-00 часов.

Для исследования центральной гемодинамики был использован реоанализатор «Кредо» (фирма «ДНК и К», Тверь, Россия). Запись тетраполярной грудной реографии осуществляли с помощью четырех ленточных циркулярных электродов в положении лежа по Kubichek [23]. Оценивали следующие показатели: частота сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин); ударный объем крови (УО, мл); минутный объем кровообращения (МОК, л/мин); ударный индекс (УИ, мл/м²); сердечный индекс (СИ, л/мин/м²); общее периферическое сопротивление (ОПС, дин/с/см); объемная скорость выброса (ОСВ, мл/сек); рабочий индекс левого желудочка (РИЛЖ, кг*м/м²). Для автоматического расчета показателей вводили в программу индивидуальные значения систолического и диастолического артериального давления (САД, ДАД, мм рт. ст.), определяемые с помощью механического тонометра «CS Medica CS 107» по методу Н. С. Короткова.

Для гематологического исследования осуществляли забор капиллярной крови. Лабораторные исследования проводили в клиничко-диагностической

лаборатории поликлиники ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России (Лицензия ФС-69-01-000780 от 23.04.2015 г.). С помощью гематологического анализатора «Micros-60 OT» (Hogiba ABX, Франция) оценивали абсолютное количество эритроцитов (RBC; единицы измерения: $\times 10^9/\text{л}$). Для определения деформации эритроцитов опытный образец в объеме 20 мкл из отмытой в физиологическом растворе эритроцитарной взвеси, полученной путем центрифугирования капиллярной крови, наносили на беззолный ацетатцеллюлозный фильтр с порами диаметром 3–5 мкм и диаметром диска 70 мм. Рядом располагался контрольный образец из физиологического раствора объемом 20 мкл. Мембрану предварительно натягивали на специальной установке для натяжения бумажного фильтра, что обеспечивало всегда одинаковую рабочую поверхность и равномерное растекание физраствора и взвеси клеток. Время экспозиции равнялось 1 минуте. Чем выше была деформируемость эритроцитов опытного образца, тем большего диаметра достигало пятно при растекании. Расчет индекса деформируемости эритроцитов (ИДЭ) производили по отношению среднего диаметра пятна физраствора (среднее арифметическое из двух показателей диаметра, измеренных перпендикулярно друг другу) к среднему диаметру растекающейся эритроцитарной взвеси (аналогичный подсчет) и выражали в относительных единицах (отн. ед.). Полученное значение ИДЭ обратно пропорционально способности эритроцитов к деформации [17]. Контрольную группу для гематологического исследования составили 50 мужчин-добровольцев в возрасте 20–45 лет, чья профессиональная деятельность не была связана с экстремальными условиями труда.

При математической обработке данных с помощью программы «Statistica 6» был использован дискриптивный анализ. Средние выборочные значения количественных признаков приведены в тексте в виде $M \pm m$, где M – среднее выборочное, m – стандартная ошибка среднего. Для оценки значимых различий применялся сравнительный анализ с использованием критериев Краскела – Уоллиса (для трех и более независимых выборок) и Стьюдента (для двух связанных выборок). Для проверки показателей на нормальность распределения использовали критерий Шапиро – Уилка. Взаимосвязи оценивали с помощью корреляционного анализа по критерию Пирсона. За критический уровень значимости различий принято значение $p \leq 0,05$.

Результаты

Сравнительный анализ данных центральной гемодинамики выявил особенности ряда показателей в трех группах пожарных-спасателей (табл. 1).

Обнаружено, что ЧСС, САД и ДАД значимо выше во второй группе пожарных-спасателей.

Оценка объема крови во время выброса по значениям УО определила значимое превышение нормативных параметров в первой группе ($p = 0,023$) на фоне

Таблица 1
Средние значения показателей центральной гемодинамики (по тетраполярной грудной РЭГ) ($M \pm m$)

| Показатель, единица измерения | 1 группа (n=82), стаж 1–6 лет | 2 группа (n=70), стаж 7–15 лет | 3 группа (n=88), стаж 16–20 лет | Нормативное значение |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| ЧСС, уд/мин | 64,7 ± 2,3 | 73,9 ± 2,0* | 65,1 ± 1,2^ | – |
| САД, мм рт. ст. | 122,3 ± 4,2 | 135,7 ± 3,4* | 123,2 ± 3,7^ | – |
| ДАД, мм рт. ст. | 77,5 ± 2,6 | 89,3 ± 3,5* | 79,6 ± 2,2^ | – |
| УО, мл | 128,4 ± 4,1 | 92,3 ± 3,7* | 105,3 ± 3,8• | 65–100 |
| МОК, л/мин | 8,7 ± 0,4 | 6,7 ± 0,3* | 7,1 ± 0,3• | 4,50–6,50 |
| УИ, мл/м ² | 60,2 ± 3,4 | 46,3 ± 3,7* | 51,2 ± 3,5• | 30–65 |
| СИ, л/мин/м ² | 4,1 ± 0,3 | 3,4 ± 0,1* | 3,5 ± 0,2• | 1,9–3,6 |
| ОПС, дин/с/см | 1021,3 ± 35,1 | 1287,4 ± 68,1* | 1373,6 ± 77,3• | 1100–1900 |
| ОСВ, мл/сек | 469,8 ± 11,7 | 296,1 ± 12,3* | 344,8 ± 11,3• | 180–325 |
| РИЛЖ, кг*м/м ² | 5,4 ± 0,5 | 4,9 ± 0,3 | 5,3 ± 0,6 | 2,600–6,33 |

Примечания: M – среднее арифметическое, m – стандартная ошибка среднего арифметического; значимые различия средних: * – 1 и 2 групп, ^ – 2 и 3 групп, • – 1 и 3 групп при $p \leq 0,05$.

других групп. Средние значения ударного индекса, рассчитываемого как отношение УО к поверхности тела, продемонстрировали аналогичную ситуацию ($p = 0,037$). Среднегрупповые показатели временных значений МОК и СИ этой выборки также значимо выше в сравнении с другими, при этом МОК выходит за границы нормативных параметров.

Анализ значений ОПС первой группы, рассчитываемого как отношение среднего гемодинамического давления к МОК, показал значимое его снижение в сравнении с нормативными параметрами и другими группами ($p = 0,043$).

Объемная скорость сердечного выброса определяется как отношение ударного объема крови к времени изгнания из сердца. Средние показатели ОСВ первой и третьей групп превысили нормативные и значимо отличались во всех выборках ($p = 0,012$).

Среднегрупповые РИЛЖ при этом находились в пределах нормы и не имели достоверных расхождений между собой.

Анализ индивидуальных значений по типам кровообращения, общему периферическому сопротивлению и сократимости миокарда представлен в табл. 2. Тип кровообращения определяется соотношением СИ и ОПС. В зависимости от вариантов выделяют три типа: эукинетический (СИ и ОПС в пределах нормы), гипер- (СИ > и ОПС < нормы) и гипокинетический (СИ < и ОПС > нормы). Общее периферическое сопротивление определяют по показателю ОПС относительно нормы. Сократимость миокарда по соотношению РИЛЖ и ОСВ с выделением вариантов: нормальная (показатели в пределах нормы),

повышенная (РИЛЖ и ОСВ > нормы), пониженная (РИЛЖ и ОСВ < нормы).

Таблица 2
Относительное и абсолютное распределение по типам кровообращения, общему периферическому сопротивлению и сократимости миокарда (в относительных и абсолютных значениях)

| Показатель единица измерения | 1 группа (n=82), стаж 1–6 лет | 2 группа (n=70), стаж 7–15 лет | 3 группа (n=88), стаж 16–20 лет |
|---|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Тип кровообращения: эукинетический | 45,8 % (37 чел.) | 72,1 % (50 чел.) | 83,4 % (73 чел.) |
| гиперкинетический | 54,2 % (45 чел.) | 27,9 % (20 чел.) | 16,6 % (15 чел.) |
| гипокинетический | – | – | – |
| Тип общего периферического сопротивления: среднее | 32,9 % (27 чел.) | 100 % (70 чел.) | 66,9 % (59 чел.) |
| высокое | – | – | – |
| низкое | 67,1 % (55 чел.) | – | 33,1 % (29 чел.) |
| Тип сократимости миокарда: нормальная | 66,8 % (80 чел.) | 100 % (70 чел.) | 83,7 % (73 чел.) |
| повышенная | 32,2 % (22 чел.) | – | 16,3 % (15 чел.) |
| сниженная | – | – | – |

В первой группе преобладали лица с гиперкинетическим типом кровообращения, пониженным периферическим сопротивлением и нормальной сократимостью миокарда. Во второй группе у всех пожарных-спасателей оптимальные средние показатели сопротивления и сократимости, у 72,1 % – эукинетический, 27,9 % – гиперкинетический типы кровообращения. В третьей – подавляющее большинство имело нормальные параметры центральной гемодинамики.

В табл. 3 представлены результаты гематологических исследований. Анализ содержания эритроцитов в крови показал его соответствие у всех обследованных пожарных-спасателей нормальным популяционным значениям [13]. Значимые различия средних показателей RBC между группами не обнаружены.

Таблица 3
Средние значения содержания эритроцитов и индекса деформируемости эритроцитов у обследуемых лиц (M ± m)

| Показатель, единица измерения | 1 группа (n=82), стаж 1–6 лет | 2 группа (n=70), стаж 7–15 лет | 3 группа (n=88), стаж 16–25 лет | Референтное значение |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| RBC, x10 ¹² /л | 4,8±0,05 | 4,7±0,03 | 4,5±0,04 | 4,00–5,60 ¹ |
| ИДЭ, отн. ед. | 1,95±0,02* | 2,13±0,03* | 2,31±0,03* | 1,30±0,06 ² |

Примечания: M – среднее арифметическое, m – стандартная ошибка среднего арифметического, * – различия между средними значениями при p ≤ 0,05; RBC – абсолютное количество эритроцитов, ИДЭ – индекс деформируемости эритроцитов: ¹ – нормативные показатели; ² – показатели контрольной группы.

Параметры ИДЭ пожарных-спасателей всех групп были значимо выше среднего значения контрольной группы (p = 0,031), а также имели значимые различия между собой (p = 0,021). Наибольшая деформируемость мембраны эритроцитов обнаружена по средним показателям в первой группе, наименьшая – в третьей.

При анализе взаимосвязей гемодинамических показателей, возраста, стажа службы и гематологических параметров был выявлен ряд следующих особенностей (табл. 4).

Таблица 4
Структура взаимосвязей гемодинамических показателей, возраста, стажа службы и гематологических параметров, г

| Показатель | RBC | ИДЭ |
|------------|--------------|-------------|
| ЧСС | 0,25 | 0,25 |
| САД | – | 0,51 |
| ДАД | -0,56 | 0,69 |
| УО | 0,55 | – |
| МОК | 0,63 | – |
| УИ | 0,51 | – |
| СИ | 0,62 | – |
| ОПС | -0,70 | -0,25 |
| ОСВ | 0,53 | 0,18 |
| РИЛЖ | 0,57 | – |
| Возраст | 0,13 | 0,17 |
| Стаж | – | 0,57 |

Примечания: г – коэффициент корреляции при p ≤ 0,05. Жирным выделены средние и сильные связи

Между абсолютным количеством эритроцитов, определяющим вязкость крови и ее реологические свойства, и большинством показателей центральной гемодинамики обнаружены значимые достаточно сильные связи. Индекс деформируемости эритроцитов коррелирует лишь с показателями артериального давления.

Стаж службы значимо отражается на увеличении ИДЭ, вызывая увеличение жесткости мембраны эритроцитов.

Обсуждение результатов

В соответствии с целью работы было обнаружено, что параметры ЧСС, САД и ДАД значимо выше во второй группе пожарных-спасателей. При этом в первой и третьей группах эти показатели являются наиболее оптимальными.

Однако по данным РЭГ значимо высокие среднegrупповые объемные показатели УО и СИ и временные значения гемодинамики МОК, УИ, ОСВ первой группы в сравнении с другими и нормативными параметрами можно расценивать как неадекватное увеличение объемов выброса крови из сердца и минутного кровообращения в сравнении с потребностями организма на фоне низкого ОПС. При этом параметры РИЛЖ оказались в пределах нормы, что

свидетельствует об отсутствии перегрузок левого желудочка миокарда и служит благоприятным прогностическим признаком. Анализ индивидуальных значений показал, что в первой группе преобладали лица с дисбалансом в гемодинамическом профиле, представленным гиперкинетическим типом кровообращения, пониженным периферическим сопротивлением при нормальной сократимости миокарда. Большинство лиц других групп имели сбалансированные между собой эукинетический тип кровообращения с нормальным периферическим сопротивлением. Таким образом, состояние гемодинамики необходимо оценивать комплексно, не ограничиваясь значениями ЧСС, САД и ДАД.

Анализ гематологических показателей обнаружил значимое превышение ИДЭ во всех трех группах в сравнении с контрольной группой и межгрупповые достоверные различия. При этом в третьей группе индекс был наибольшим, что свидетельствовало о выраженном снижении пластичности и эластичности эритроцитарной мембраны и нарастании этих деструктивных свойств мембраны с увеличением стажа службы. Такая ситуация может потенцировать ухудшение микрореологических и гемодинамических свойств эритроцитов и, как следствие, приводить к изменениям циркуляции в капиллярах сосудистого русла.

Таким образом, анализ гемодинамических и гематологических изменений у пожарных-спасателей трех групп с разным сроком службы показал их различные тренды. Первые оказались наиболее выраженными в выборке лиц с профессиональным стажем до 6 лет, вторые – от 15 лет. Вероятно, адаптация системы кровообращения к экстремальным факторам труда происходит достаточно мобильно и реактивно на этапе становления профессионализма. Это проявляется в формировании баланса между параметрами объемно-временных характеристик работы миокарда и потребностями организма и, как следствие, появлению адекватного гемодинамического профиля на этапе сформированного профессионализма. В системе красной крови негативные факторы, обусловленные вредными условиями труда, появляются постепенно, нарастая к последнему этапу службы. Обнаруженные закономерности изменений мембранных свойств в виде уменьшения деформируемости демонстрируют их консервативный по времени проявления характер. В литературе при этом имеются сведения о возрастных изменениях деформируемости эритроцитов [6, 7]. Обнаруженные в нашей работе взаимосвязи ИДЭ с возрастом и профессиональным стажем пожарных-спасателей подчеркивают большую зависимость увеличения жесткости мембраны эритроцитов от последнего.

Между абсолютным количеством эритроцитов, определяющим вязкость крови и ее реологические свойства, и большинством гемодинамических показателей центральной гемодинамики выявлены значимые достаточно сильные связи. Индекс деформируемости

эритроцитов коррелирует лишь с показателями артериального давления. Причем увеличение вязкости крови способствует росту большинства объемных и временных характеристик центральной гемодинамики, а уменьшение деформируемости эритроцитов приводит к артериальной гипертензии, что согласуется с литературными данными [15].

Сравнение динамики физиологических изменений у пожарных-спасателей трех групп с разным сроком службы в МЧС обнаружило реактивный характер гемодинамических сдвигов и консервативный характер гематологических проявлений.

Список литературы

1. Агаджанян Н. А., Баевский Р. М., Берсенева А. П. Функциональные резервы организма и теория адаптации // Вестник восстановительной медицины. 2004. Т. 3, № 9. С. 4–10.
2. Алексанин С. С., Астафьев О. М., Санников М. В. Совершенствование системы медицинских обследований спасателей и пожарных МЧС // Медицина катастроф. 2010. № 3. С. 8–11.
3. Бескаравайный Е. Б., Гудков А. Б., Белозёров С. П., Бескаравайная А. В. Психомоторные реакции военнослужащих подразделений специального назначения в процессе выполнения служебно-боевых задач // Экология человека. 2014. № 4. С. 52–59.
4. Власенко Н. Ю., Бодурова Д. Ф., Макарова И. И. Психофизиологические предикторы личностного адаптационного потенциала у пожарных на начальном этапе профессионализации // Экология человека. 2015. № 3. С. 52–57.
5. Власенко Н. Ю., Макарова И. И., Аксёнова А. В. Исследование антропометрических особенностей и показателей variability сердечного ритма у пожарных-спасателей // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2016. № 3. С. 7–17.
6. Горис А. П., Зарубина Е. Г., Москвин С. В. Влияние деформируемости мембран эритроцитов на микроциркуляцию в зависимости от возраста у пациентов с гипоксиями различного генеза // ВНМТ. 2012. № 3. С. 47–49.
7. Горис А. П., Зарубина Е. Г., Москвин С. В. Зависимость деформируемости эритроцитов от возраста человека // Лазерная медицина. 2013. Т. 17, № 2. С. 24–26.
8. Гудков А. Б., Мосягин И. Г., Иванов В. Д. Характеристика фазовой структуры сердечного цикла у новобранцев учебного центра ВМФ на Севере // Военно-медицинский журнал. 2014. Т. 335, № 2. С. 58–59.
9. Гуцин А. Г., Муравьев А. В., Шаечкина И. К. Оценка комплекса гемореологических параметров при эритроцитозе // Физиология человека. 2000. Т. 26, № 2. С. 111–114.
10. Зинчук В. В. Деформируемость эритроцитов: физиологические аспекты // Успехи физиологических наук. 2001. Т. 32, № 3. С. 64–76.
11. Карпин В. А., Шувалова О. И., Гудков А. Б. Клиническое течение артериальной гипертензии в экологических условиях урбанизированного Севера // Экология человека. 2011. № 10. С. 48–52.
12. Климов Е. А. Пути в профессионализм. М.: Московский психолого-социальный институт: Флинта, 2003. 320 с.
13. Козлова Е. К., Черняев А. П., Черныш А. М., Алексеева П. Ю., Козлов А. П., Близнюк У. А. Диагностика скрытых повреждений мембран эритроцитов в результате

воздействия физико-химических факторов // Технология живых систем. 2007. № 4 (1). С. 28–37.

14. *Меньшиков В. В., Пименова Л. М., Луговская С. А., Почтарь М. Е., Соболева Т. Н., Зубрихина Г. Н., Антонов В. С., Сухачева Е. А.* Стандартизованная технология «Исследование клеточного состава крови с применением гематологических анализаторов». М., 2014. 67 с.

15. *Петухов И. В.* Прогнозирование развития артериальной гипертензии у здоровых людей с учетом показателей деформируемости эритроцитов // Вестник ВГМУ. 2003. Т. 2, № 3. С. 41–45.

16. 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. URL: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/46/46047 (дата обращения: 23.08.2017)

17. *Салова Н. В., Горшкова М. А., Иванова О. В.* Способ определения деформируемости эритроцитов методом фильтрации по методике З. Д. Федоровой и соавт. (пат. Рос. Федерация 2000117531. Способ оценки деформируемости эритроцитов, 1989 г.) в авторской модификации. Заявка на изобретение № 2009140672. Бюл. № 14 от 20.05.2011.

18. *Санников М. В., Андреев А. А.* Характеристика состояния здоровья спасателей и специалистов государственной противопожарной службы МЧС России // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2007. № 1. С. 19–26.

19. *Снегирева Л. В., Иванов В. П.* Реологические свойства эритроцитов в их онтогенезе // Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». 2007. № 1. С. 35–44.

20. *Ушаков И. Б., Воронков Ю. И., Гончарова А. Г., Тихонова Г. А., Доброквашина Е. И.* К вопросу оценки рисков в авиационной и космической медицине // Медицина труда и промышленная экология. 2015. № 9. С. 144–145.

21. *Baskurt O. K., Hardeman M. R., Rampling M. W., Meiselman H. J.* Handbook of Hemorheology and Hemodynamics. IOS Press. 2007. 456 p.

22. *Baskurt O. K., Meiselman H. J.* Blood rheology and hemodynamics // Semin Thromb Hemost. 2003. Vol. 29. P. 435–450.

23. *Kubicek W.* Development and evaluation of an impedance cardio output system // Aerospace Med. 1994. Vol. 37. P. 1208–1212.

24. *Pries A., Secomb T.* Rheology of microcirculation // Clinical Hemorheology and Microcirculation. 2003. Vol. 29. P. 143–148.

25. *Stoltz J. F., Donner M.* New trends in clinical hemorheology: an introduction to the concept of the hemorheological profile // Schweiz Med Wochenschr Suppl. 1991. Vol. 43. P. 41–49.

References

1. Agadzhanyan N. A., Baevskii R. M., Berseneva A. P. Functional reserves of the body and the theory of adaptation. *Vestnik vosstanovitel'noi meditsiny* [Bulletin of Restorative Medicine]. 2004, 3 (9), pp. 4-10. [In Russian]

2. Aleksanin S. S., Astaf'ev O. M., Sannikov M. V. Improvement of the system of medical examinations of rescuers and firefighters. *Meditsina katastrof* [Emergency Medicine]. 2010, 3, pp. 8-11. [In Russian]

3. Beskaravaynu E. B., Gudkov A. B., Belozarov S. P., Beskaravaynaya A. V. Psychomotor reactions of servicemen of unconventional units in progress of service and combat

missions. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology] 2014, 4, pp. 52-59. [In Russian]

4. Vlasenko N. Yu., Makarova I. I., Aksenova A. V. Study of anthropometric features and heart rate variability in firefighters-rescuers. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya i ekologiya* [Bulletin of Tver State University. Series: Biology and Ecology]. 2016, 3, pp. 7-17. [In Russian]

5. Vlasenko N. Y., Bodurova D. F., Makarova I. I. Psychophysiological predictors of personal adaptive capacity in Tver region firefighters at the initial working stage]. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2015, 3, pp. 52-57. [In Russian]

6. Goris A. P., Zarubina E. G., Moskvina S. V. Effect of deformability of erythrocyte membranes on microcirculation as a function of age in patients with hypoxia of various origins. *VNMT* [Bulletin of New Medical Technologies]. 2012, 3, pp. 47-49. [In Russian]

7. Goris A. P., Zarubina E. G., Moskvina S. V. Dependence of erythrocyte deformability on human age. *Lazernaya meditsina* [Laser Medicine]. 2013, 17 (2), pp. 24-26. [In Russian]

8. Gudkov A. B., Mosyagin I. G., Ivanov V. D. Characteristic of cardiac cycle phase structure in recruits of a Navy Training Center in the North. *Voenno-meditsinskii zhurnal* [Military-Medical Journal]. 2014, 335 (2), pp. 58-59. [In Russian]

9. Gushchin A. G., Murav'ev A. V., Shaechkina I. K. Assessment of hemorheological parameters in erythrocytosis. *Fiziologiya cheloveka*. 2000, 26 (2), pp. 111-114. [In Russian]

10. Zinchuk V. V. Deformability of erythrocytes: physiological aspects. *Uspekhi Fiziologicheskikh Nauk*. 2001, 32 (3), pp. 64-76. [In Russian]

11. Karpin V. A., Shuvalova O. I., Gudkov A. B. Essential hypertension course in ecological conditions of urban North. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2011, 10, pp. 48-52. [In Russian]

12. Klimov E. A. *Puti v professionalism* [Ways to professionalism]. Moscow, Moscow Psychological and Social Institute, Flinta, 2003, 320 p.

13. Kozlova E. K., Chernyaev A. P., Chernysh A. M., Alekseeva P. Yu., Kozlov A. P., Bliznyuk U. A. Diagnosis of hidden damage of erythrocyte membranes as a result of exposure to physical and chemical factors. *Tekhnologiya zhivyykh sistem* [The technology of living systems]. 2007, 4 (1), pp. 28-37. [In Russian]

14. *Menshikov V. V., Pimenova L. M., Lugovskaja S. A., Pochtar M. E., Soboлева T. N., Zubrihina G. N., Antonov V. S., Suhacheva E. A.* Standartizovannaya tekhnologiya «Issledovanie kletochного состава крови s primeneniem gematologicheskikh analizatorov» [The standardized technology "Study blood cell composition with hematology analyzers"]. Moscow, 2014, 67 p.

15. Petukhov I. V. Predicting the development of arterial hypertension in healthy people, taking into account the indicators of erythrocyte deformability. *Vestnik VGMU* [Bulletin of VSMU]. 2003, 2 (3), pp. 41-45. [In Russian]

16. *Rukovodstvo po gigenicheskoi otsenke faktorov rabochei sredy i trudovogo protsessa «Kriterii i klassifikatsiya uslovii truda» R 2.2.2006-05 ot 29 iyulya 2005 g.* [Guidance on the hygienic assessment of factors of working environment and labor process «The criteria and classification of working conditions» R 2.2.2006-05, 29.07.2005]. Available at: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/46/46047 (accessed: 17.09.2017).

17. *Salova N. V., Gorshkova M. A., Ivanova O. V.* Sposob opredeleniya deformiruемости eritrotsitov metodom fil'tratsii po metodike Z. D. Fedorovoi i soavt. (pat. Ros. Federatsiya

2000117531. *Sposob otsenki deformiruемости eritrotsitov, 1989 g.) v avtorskoi modifikatsii* [Method for determining of deformability of erythrocytes by filtration technique by Z. Fedorova et al. (pat. no. 2000117531 "Method for evaluating the deformability of red blood cells", 1989) in the author's modifications]. Bull. no. 14 20.05.2011.

18. Sannikov M. V., Andreev A. A. Characteristics of the state of health of rescuers and specialists of the State Fire Service MCH of Russia. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychainykh situatsiyakh* [Medical-biological and socio-psychological problems of safety in emergency situations]. 2007, 1, pp. 19-26. [In Russian]

19. Snegireva L. V., Ivanov V. P. Rheological properties of erythrocytes in their ontogenesis. *Kurskii nauchno-prakticheskii vestnik «Chelovek i ego zdorov'e»* [Kursk Scientific and Practical Bulletin «The Man and His Health»]. 2007, 1, pp. 35-44. [In Russian]

20. Ushakov I. B., Voronkov Yu. I., Goncharova A. G., Tikhonova G. A., Dobrokvashina E. I. On the issue of risk assessment in aviation and space medicine. *Meditsina truda i promyshlennaia ekologiya*. 2015, 9, pp. 144-145. [In Russian]

21. Baskurt O. K., Hardeman M. R., Rampling M. W.,

Meiselman H. J. Handbook of Hemorheology and Hemodinamics. *IOS Press*. 2007, 456 p.

22. Baskurt O. K., Meiselman H. J. Blood rheology and hemodynamics. *Semin Thromb Hemost*. 2003, 29, pp. 435-450.

23. Kubichek W. Development and evaluation of an impedance cardio output system. *Aerospace Med*. 1994, 37, pp. 1208-1212.

24. Pries A., Secomb T. Rheology of microcirculation. *Clinical Hemorheology and Microcirculation*. 2003, 29, pp. 143-148.

25. Stoltz J. F., Donner M. New trends in clinical hemorheology: an introduction to the concept of the hemorheological profile. *Schweiz Med Wochenschr Suppl*. 1991, 43, pp. 41-49.

Контактная информация:

Макарова Ирина Илларионовна — доктор медицинских наук, профессор, зав. кафедрой физиологии ФГБОУ ВО «Тверской государственной медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Адрес: 170100, г. Тверь, ул. Советская, д. 4

E-mail: iim777@yandex.ru