

УДК 612.111:613.6.02

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И СВОЙСТВА МЕМБРАН ЭРИТРОЦИТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ

© 2017 г. Н. Ю. Власенко, *И. И. Макарова

Тверской государственной технической университет,
*Тверской государственной медицинской университет, г. Тверь

В исследовании 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 и конце рабочей суточной смены с помощью гематологического анализатора «Micros-60 OT» исследовали параметры эритроцитов капиллярной крови. По специальным методикам определяли деформируемость и осмотическую резистентность их мембраны. Морфометрические параметры эритроцитов пожарных соответствовали значениям популяционной нормы. Рабочая нагрузка в течение суток не привела к их значимым сдвигам, за исключением анизоцитоза в группе со стажем 16–25 лет. В этой же группе обнаружено влияние длительности службы на повышение гетерогенности размеров эритроцитов, снижение их общего числа и уровня гемоглобина. В начале смены деформируемость мембраны и осмотическая резистентность в 0,45 % растворе NaCl у обследуемых всех групп оказались значимо ниже показателей контрольной группы. К концу суток средние показатели этих параметров повысились во всех группах, однако значения контрольной группы не были достигнуты.

Ключевые слова: морфометрические параметры эритроцитов, деформируемость мембраны, осмотическая резистентность, пожарные-спасатели, экстремальные условия труда

MORPHOMETRIC PARAMETERS AND PROPERTIES OF ERYTHROCYTE MEMBRANE UNDER THE INFLUENCE OF EXTREME PROFESSIONAL FACTORS

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

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

240 hot papas (age 25-47 years) took part in the research. They were divided into three groups depending on the length of service: 1-6, 7-15, 16-25 years. Red blood cells parameters were examined by means of the blood analyzer "Micros-60 OT", membrane deformability and osmotic fragility were determined according to special techniques at the beginning and at the end of the daily shift. The morphometric parameters of hot papas' erythrocytes corresponded to normal values. The workload during the day did not lead to their significant shifts except anisocytosis in the group with work experience of 16-25 years. The influence of service duration on increase of red blood cell heterogeneity, a reduction in their total number and Hb level was found in the same group. At the beginning of the shift the membrane deformability and osmotic fragility in 0.45 % NaCl solution were significantly lower in all surveyed groups than in the control group. The average values of these parameters increased in all groups by end of the shift. However, the control group values were not achieved.

Keywords: erythrocyte morphometric parameters, membrane deformability, osmotic fragility, hot papas, extreme working conditions

Библиографическая ссылка:

Власенко Н. Ю., Макарова И. И. Морфометрические параметры и свойства мембран эритроцитов при воздействии экстремальных профессиональных факторов // Экология человека. 2017. № 10. С. 28–33.

Vlasenko N. Y., Makarova I. I. Morphometric Parameters and Properties of Erythrocyte Membrane under the Influence of Extreme Professional Factors. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 10, pp. 28-33.

Одним из важнейших критериев здоровья человека является состояние его адаптивных механизмов. Современные экологические условия природного, техногенного, социального и профессионального характера оказывают на них жесткое давление и требуют от человека приспособленности к условиям жизни. Система крови является надежным индикатором для оценки состояния организма. Благодаря своей высокой реактивности она играет роль эффектора в реализации адаптационного ответа [5]. При этом состояние эритроцитов и их морфометрические особенности являются чувствительным маркером изменений в организме, обусловленных воздействием факторов внешней среды. Особый интерес представляет клеточная мембрана

клеток красной крови и ее свойства. Важнейшим из них является деформируемость эритроцита (ДЭ) [3]. Напряжение гомеостаза при воздействии неблагоприятных факторов приводит к ее снижению или потере, потенцируя жесткость или ригидность клеток. Этот процесс запускает тканевую ишемию с развивающейся гипоксией. Снижение деформируемости приводит к изменению другого важнейшего физико-химического свойства мембраны — осмотической резистентности эритроцитов (ОРЭ) [7]. Ее уменьшение вызывает усиление гемолитических процессов, что наблюдается при ряде заболеваний и в условиях стрессовых нагрузок [9]. Являясь безъядерными элементами, эритроциты лишены возможности пластичной регуляции своих

мембранных свойств. Вследствие этого негативные воздействия потенцируют аккумулирующий эффект на их мембране, опосредованно отражающий накопление и суммацию стрессовых воздействий [4]. На сегодняшний день особенности влияния экстремальных профессиональных факторов, вызывающих изменения в системе красной крови, мало изучены. Сотрудникам ряда ведомств, в том числе Министерства чрезвычайных ситуаций Российской Федерации (МЧС РФ), приходится испытывать чрезвычайные физические и психологические нагрузки [1]. В этой связи представляет интерес изучение особенностей эритроцитов у пожарных-спасателей Федеральной противопожарной службы (ФПС) МЧС РФ.

Целью работы явилось исследование морфометрических параметров эритроцитов и их мембранных свойств: деформируемости и осмотической резистентности как индикаторов реактивности организма и напряженности адаптивных механизмов при воздействии опасных и экстремальных профессиональных факторов у пожарных-спасателей.

Методы

Настоящее исследование выполнено в пожарных частях № 2, 3, 4 ФПС МЧС по Тверской области в 2014 году. В исследовании 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 время службы происходит поэтапное (через каждые 2 года) присвоение классов пожарных: третьего, второго и первого [11]. Этот период соответствует периоду адаптации и овладения 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. У специалистов экстремального профиля в этот период возможно развитие профессионального выгорания, когда могут проявляться дезадаптивные процессы, связанные с истощением ресурсов организма и возрастными изменениями [6].

Режим службы обследуемых составлял цикл из одних рабочих и трех суток отдыха. Забор капиллярной крови для исследования у пожарных-спасателей осуществлялся дважды: в начале и конце рабочей суточной смены с 8-30 до 9-00 часов. 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 ана-

лизатора «Micros-60 OT» (Horiba ABX, Франция) оценивали морфометрические показатели: абсолютное количество эритроцитов (RBC; $\times 10^{12}/л$), гемоглобин (HGB; г/л), гематокрит (HCT; л/л), средний объем эритроцита (MCV; фл), средний диаметр эритроцита (СД; мкм), среднее содержание гемоглобина в эритроците (MCH; пг), среднюю концентрацию гемоглобина в эритроците (MCHC; г/дл) и ширину распределения эритроцитов – анизоцитоз (RDW; %). Для определения ДЭ опытный образец в объеме 20 мкл из отмытой в физиологическом растворе эритроцитарной взвеси, полученной путем центрифугирования капиллярной крови, наносили на беззольный 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 ДЭ 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 растекшейся эритроцитарной взвеси (аналогичный подсчет) и выражали в относительных единицах (отн. ед.). Полученное значение ИДЭ обратно пропорционально способности эритроцитов к деформации [12].

Для определения ОРЭ использовали капиллярную кровь и три центрифужные пробирки. В первую помещали 2,5 мл дистиллированной воды, во вторую – 2,5 мл физраствора, в третью – по 1,25 мл дистиллированной воды и физраствора (для получения 0,45 % NaCl). Затем во все пробирки добавляли по 0,01 мл капиллярной крови, перемешивали и центрифугировали в течение 10 минут при 2 000 оборотов в минуту. Далее измеряли оптическую плотность надосадочных жидкостей трех проб на концентрационном фотоэлектрическом фотометре КФК-3 (Загорский оптико-механический завод, Россия) при длине волны 414 нм в кювете с длиной поглощающего слоя 1 см против дистиллированной воды. Осмотическую резистентность эритроцитов оценивали по степени гемолиза эритроцитов в растворах с разной концентрацией NaCl. Гемолиз пробы в дистиллированной воде принимали за 100 %. При этом оптическая плотность надосадочных жидкостей образцов имела прямую зависимость от степени гемолиза. Ее рассчитывали дважды по формуле:

$$H (\%) = D_2 \times 100 / D_1,$$

где H – степень гемолиза, 100 – степень гемолиза в образце с дистиллированной водой, D_2 – оптическая плотность в образце с физиологическим раствором или с раствором 0,45 % NaCl, D_1 – оптическая плотность в образце с дистиллированной водой.

Таблица 1

Средние значения морфометрических показателей эритроцитов у обследуемых лиц в начале и конце смены ($M \pm m$)

Показатель, единицы измерения	1 группа (n=82), стаж 1–6 лет		2 группа (n=60), стаж 7–15 лет		3 группа (n=88), стаж 16–25 лет		Нормативный показатель
	I	II	I	II	I	II	
RBC, $\times 10^{12}/л$	4,8 \pm 0,05	4,7 \pm 0,04	4,7 \pm 0,03	4,6 \pm 0,02	4,5 \pm 0,04	4,5 \pm 0,02	4,00–5,60
HGB, г/л	149,2 \pm 0,8	147,4 \pm 1,1	145,2 \pm 0,9	148,5 \pm 1,2	146,2 \pm 0,9	148,4 \pm 0,8	128,00–172,00
HCT, л/л	0,43 \pm 0,004	0,42 \pm 0,004	0,44 \pm 0,005	0,44 \pm 0,003	0,43 \pm 0,002	0,48 \pm 0,004	0,39–0,49
MCV, фл	89,1 \pm 0,4	89,3 \pm 0,5	88,2 \pm 0,6	88,7 \pm 0,4	88,4 \pm 0,5	88,8 \pm 0,6	81,00–94,00
СД, мкм	7,7 \pm 0,04	7,9 \pm 0,06	7,3 \pm 0,07	7,5 \pm 0,06	7,2 \pm 0,08	7,7 \pm 0,07	7,16–8,00
MCH, пг	31,1 \pm 0,2	31,3 \pm 0,4	31,2 \pm 0,3	31,8 \pm 0,2	31,2 \pm 0,2	31,5 \pm 0,3	27,50 – 34,00
MCHC, г/дл	35,5 \pm 0,3	34,7 \pm 0,4	35,4 \pm 0,3	35,7 \pm 0,5	35,6 \pm 0,3	36,0 \pm 0,4	32,60–36,40
RDW, %	13,4 \pm 0,1	14,3 \pm 0,2	13,3 \pm 0,2	13,6 \pm 0,1	13,2 \pm 0,2	14,3 \pm 0,3*	11,50–15,00

Примечания: M – среднее арифметическое, m – стандартная ошибка среднего арифметического, * – различия между средними значениями в начале и конце смены при $p < 0,05$; RBC – абсолютное количество эритроцитов, HGB – гемоглобин, HCT – гематокрит, MCV – средний объем эритроцита, СД – средний диаметр эритроцита, MCH – среднее содержание гемоглобина в эритроците, MCHC – средняя концентрация гемоглобина в эритроците, RDW – ширина распределения эритроцитов (анизоцитоз); I и II – средние значения морфометрических показателей эритроцитов у обследуемых лиц в начале и конце смены.

Полученное значение N обратно пропорционально ОРЭ [13].

Контрольную группу 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 $p < 0,05$.

Результаты

Анализ морфометрических параметров эритроцитов показал, что у всех обследованных пожарных-спасателей они соответствовали нормальным популяционным значениям [8]. Средние значения морфометрических показателей эритроцитов представлены в табл. 1.

Значимых различий средних показателей между группами не обнаружено. Парное сравнение изучаемых характеристик в начале и конце смены каждой группы выявило значимые различия лишь индекса анизоцитоза в группе со стажем от 16 до 25 лет ($p = 0,033$).

При изучении взаимосвязей эритроцитарных индексов с длительностью профессионального стажа был выявлен ряд особенностей (табл. 2).

В первой и второй группах не обнаружено сильных значимых связей. В третьей они составили большинство ряда.

Таблица 2

Структура взаимосвязей морфометрических показателей эритроцитов и длительности профессионального стажа (г)

Показатели	1 группа (n=82), стаж 1–6 лет	2 группа (n=60), стаж 7–15 лет	3 группа (n=88), стаж 16–25 лет
RBC	–0,32	0,24	–0,76
HGB	–0,07	0,23	–0,72
HCT	–0,15	0,15	–0,65
MCV	0,22	–0,01	0,25
СД	0,22	–0,01	0,24
MCH	–0,26	0,08	0,68
MCHC	0,23	0,33	0,71
RDW	0,07	0,24	0,66

Примечания: r – коэффициент корреляции при $p < 0,05$; RBC – абсолютное количество эритроцитов, HGB – гемоглобин, HCT – гематокрит, MCV – средний объем эритроцита, СД – средний диаметр эритроцита, MCH – среднее содержание гемоглобина в эритроците, MCHC – средняя концентрация гемоглобина в эритроците, RDW – ширина распределения эритроцитов (анизоцитоз).

Следующим этапом нашей работы явилось исследование мембранных свойств клеток красной крови (табл. 3).

В начале смены ИДЭ пожарных-спасателей всех групп были значимо выше среднего значения контрольной группы ($p = 0,031$), а также имели значимые различия между собой ($p = 0,021$). В конце смены обнаружено парадоксально значимое уменьшение ИДЭ по сравнению с исходным, что свидетельствовало о повышении деформируемости мембраны клеток (1 группа: $p = 0,036$; 2 группа: $p = 0,029$; 3 группа: $p = 0,041$). При этом средние значения индекса всех групп не достигли уровня контрольной группы ($p = 0,041$).

Показатель осмотической резистентности N (0,9 %) у пожарных-спасателей всех групп в начале смены был значимо ниже среднего контрольной группы ($p = 0,018$). При этом межгрупповые различия N (0,9 %) не обнаружены. В конце смены доля

Таблица 3

Средние значения индекса деформируемости эритроцитов и осмотической резистентности эритроцитов у обследуемых лиц в начале и конце смены ($M \pm m$)

Показатель, единицы измерения	1 группа (n=82), стаж 1–6 лет		2 группа (n=60), стаж 7–15 лет		3 группа (n=88), стаж 16–25 лет		Контрольная группа	
	I	II	I	II	I	II		
ИДЭ, отн. ед.	1,95±0,02*	1,54±0,03^	2,13±0,03*•	1,61±0,04^	2,31±0,03*•	1,56±0,04^	1,30±0,06	
ОРЭ, %	H (0,9%)	0,57±0,011*	0,30±0,009^	0,58±0,008*	0,26±0,012^	0,56±0,011*	0,60±0,009^	1,61±0,014
	H (0,45%)	73,43±1,37*	47,23±1,42^	80,69±1,36*	40,70±1,49^	97,90±1,38*	54,87±1,34^	25,16±1,33

Примечания: M – среднее арифметическое, m – стандартная ошибка среднего арифметического, * – различия между средними значениями контрольной группы и средними значениями 1, 2, 3 групп в начале смены, ^ – различия между средними значениями в начале и в конце смены каждой группы, • – различия между средними значениями в начале смены 1, 2 и 3 групп при $p < 0,05$; ИДЭ – индекс деформируемости эритроцитов, ОРЭ – осмотическая резистентность эритроцитов, H (0,9 %), H (0,45 %) – степени гемолиза эритроцитов в физрастворе и 0,45 % растворе NaCl; I и II – средние значения морфометрических показателей эритроцитов у обследуемых лиц в начале и конце смены.

гемолизированных эритроцитов значительно уменьшилась во всех группах, приводя к росту осмотической устойчивости ($p = 0,035$). Гемолиз в гипотоническом растворе (0,45 %) в начале смены был значительно выше среднего значения контрольной группы во всех группах в начале смены ($p = 0,027$). При этом групповые средние значения H (0,45 %) имели значимые различия: у пожарных первой группы обнаружен наиболее низкий показатель, а третьей – высокий ($p = 0,033$). В конце смены нами обнаружено значимое уменьшение H (0,45 %) во всех группах, что свидетельствовало о повышении осмотической резистентности эритроцитов (1 группа: $p = 0,024$; 2 группа: $p = 0,019$; 3 группа: $p = 0,031$), при этом средние значения оставались достоверно выше уровня гемолизированных эритроцитов контрольной группы ($p = 0,034$).

При анализе взаимосвязей ИДЭ и ОРЭ с длительностью профессионального стажа был выявлен ряд следующих особенностей (табл. 4).

Таблица 4

Структура взаимосвязей индекса деформируемости эритроцитов и осмотической резистентности эритроцитов с длительностью профессионального стажа (г)

Показатель	1 группа (n=82), стаж 1–6 лет	2 группа (n=60), стаж 7–15 лет	3 группа (n=88), стаж 16–25 лет
ИДЭ	-0,15	-0,31	-0,24
ОРЭ	H (0,9%)	0,01	0,19
	H (0,45%)	-0,59	0,06

Примечания: г – коэффициент корреляции при $p < 0,05$; ИДЭ – индекс деформируемости эритроцитов, ОРЭ – осмотическая резистентность эритроцитов, H (0,9 %), H (0,45 %) – степени гемолиза эритроцитов в физрастворе и 0,45 % растворе NaCl.

В первой группе обнаружена одна умеренно сильная связь между временем службы в ФПС МЧС и осмотической резистентностью эритроцитов в 0,45 % растворе NaCl. Во второй группе не выявлено сильных связей. При этом в третьей, как и в первой, обнаружена умеренно сильная корреляция между временем службы и ОРЭ в 0,45 % растворе NaCl, но в данном случае с положительным знаком.

Обсуждение результатов

В ходе исследования было обнаружено, что морфометрические параметры эритроцитов у всех обследованных пожарных-спасателей соответствовали нормальным популяционным значениям. Различий средних показателей изучаемых характеристик между группами не обнаружено. Анализ динамики суточных изменений в начале и конце смены выявил лишь одно значимое повышение индекса анизоцитоза (коэффициент вариации среднего объема эритроцитов) в группе со стажем от 16 до 25 лет, что свидетельствовало об увеличении гетерогенности эритроцитов.

При изучении взаимосвязей эритроцитарных индексов с длительностью профессионального стажа был выявлен ряд особенностей. В первой и второй группах не обнаружено сильных значимых связей. При этом в третьей они составили большинство ряда. Обратные корреляции свидетельствуют, что при стаже службы 16 и более лет происходит уменьшение количества эритроцитов и уровня гемоглобина, начинает снижаться гематокрит, увеличивается среднее содержание и концентрация гемоглобина в одном эритроците. Кроме того, происходит рост анизоцитоза эритроцитов.

Следующим этапом нашей работы явилось исследование мембранных свойств клеток красной крови. В начале смены ИДЭ пожарных-спасателей всех групп были значительно выше среднего значения контрольной группы, а также имели значимые различия между собой. Это свидетельствовало о снижении пластичности и эластичности эритроцитарной мембраны у обследованных сотрудников МЧС. Такая ситуация может потенцировать ухудшение микрореологических и гемодинамических свойств эритроцитов и, как следствие, приводить к изменениям циркуляции в капиллярах сосудистого русла. При этом обнаружено нарастание этих деструктивных свойств мембраны с увеличением стажа службы.

В конце смены выявлено парадоксальное значимое уменьшение ИДЭ по сравнению с исходным, что свидетельствовало о повышении деформируемости мембраны клеток. При этом средние значения индекса всех групп не достигли уровня контрольной группы.

Показатель осмотической резистентности H (0,9 %) у пожарных-спасателей всех групп в начале

смены был значимо ниже среднего контрольной группы, что свидетельствовало о достаточной устойчивости эритроцитов в физиологическом растворе. При этом межгрупповых различий H (0,9 %) не обнаружено. В конце смены доля гемолизированных эритроцитов значимо уменьшилась во всех группах, приводя к росту осмотической устойчивости. Гемолиз в гипотоническом растворе (0,45 %) в начале смены был достоверно выше среднего значения контрольной группы во всех группах в начале смены, что означало низкую резистентность мембран эритроцитов при данной концентрации раствора опытного образца. При этом групповые средние значения H (0,45 %) имели значимые различия: у пожарных первой группы обнаружен наиболее низкий показатель, у пожарных третьей — высокий. Вероятно, как и в случае ИДЭ, это отражает аккумулярующий эффект деструктивных изменений с увеличением срока службы в ФПС МЧС. В конце смены обнаружено значимое уменьшение H (0,45 %) во всех группах, что свидетельствовало о повышении осмотической резистентности эритроцитов, при этом средние значения оставались достоверно выше уровня гемолизированных эритроцитов контрольной группы.

При анализе взаимосвязей ИДЭ и ОРЭ с длительностью профессионального стажа был выявлен ряд следующих особенностей. В первой группе обнаружена одна умеренно сильная связь между временем службы в ФПС МЧС и осмотической резистентностью эритроцитов в 0,45 % растворе NaCl, что свидетельствовало о ее повышении в течение первых шести лет службы. Данный факт можно расценивать как пример физиологической адаптации к условиям службы. Во второй группе не выявлено сильных связей. При этом в третьей группе, как и в первой, обнаружена умеренно сильная корреляция между временем службы и ОРЭ в 0,45 % растворе NaCl, но в данном случае с положительным знаком. Это означает, по всей видимости, уменьшение резистентности клеточной мембраны у обследованных лиц в последний профессиональный период по сравнению с первыми двумя.

Исследование мембранных свойств эритроцитов пожарных-спасателей показало их значимое ухудшение в условиях профессиональной экстремальной нагрузки, о чем свидетельствуют исходные результаты в начале смены. Вопреки ожиданиям суточная рабочая нагрузка не усугубила состояния эритроцитов, а, наоборот, оказала положительное потенцирующее действие. Вероятно, это является привычным компенсаторным ответом организма в рабочем цикле пожарных — чередовании интенсивной суточной профессиональной нагрузки с тремя днями отдыха и восстановления. Улучшение ДЭ и ОРЭ, вероятно, обусловлено экстремным ускорением эритропоэза в костном мозге. Косвенно это подтверждают тренды изменений ряда морфометрических параметров эритроцитов в течение рабочей смены: увеличение среднего диаметра и анизоцитоза. При этом в группе пожарных-спасателей со стажем 16–25 лет, как было сказано выше, обнаружено значимое увеличение

последнего. Можно полагать, что это является признаком поступления в русло новой порции молодых клеток с хорошими мембранными свойствами, за счет которых и происходит увеличение ДЭ и ОРЭ.

В настоящее время можно считать доказанным, что в определенных условиях, как остро возникших, так и хронических, наряду с основным фоновым кроветворением может включаться и параллельное — «шунтовое», образующее дополнительную популяцию клеток. Представление о нем было сформулировано в работах А. И. Воробьева, М. Д. Бриллиант [10]. Наиболее полно «шунтовое кроветворение» изучено в условиях напряженного эритропоэза. Включение данного вида кроветворения описано в контексте анемий. Вероятно, подобная реакция организма развивается в ответ на гипоксию ткани любого генеза, в том числе из-за понижения ДЭ и уменьшения микроциркуляции в капиллярах. Один из механизмов «шунтового» кроветворения — исключение одного или нескольких циклов митотических делений эритроидных клеток в костном мозге, в результате чего большее количество делящихся клеток достигает дифференцированной стадии при меньшем числе митозов и соответственно имеют больший размер, что отражает индекс анизоцитоза [2]. Можно полагать, что у пожарных-спасателей определенная периодичность профессиональной стрессогенной нагрузки запускает некоторые особенности работы системы эритрона с экстремным усилением кроветворения.

Таким образом, проведенное исследование показало, что морфометрические параметры эритроцитов пожарных-спасателей всех групп, распределенных по стажу службы, соответствовали значениям популяционной нормы. Рабочая нагрузка в течение рабочих суток не привела к их значимым сдвигам, за исключением анизоцитоза в группе со стажем 16–25 лет. В этой же группе обнаружено влияние длительности службы на повышение гетерогенности размеров эритроцитов, снижение их общего числа и уровня гемоглобина.

В начале смены мембранные свойства эритроцитов пожарных-спасателей: деформируемость и осмотическая резистентность в 0,45 % растворе NaCl оказались значимо ниже показателей контрольной группы. У лиц со стажем службы 16–25 лет обнаружены наименьшие показатели, что, вероятно, отражает аккумулярующий эффект деструктивных изменений. За сутки службы эти параметры улучшились во всех группах за счет предполагаемого экстремного усиления эритропоэза и поступившей в периферическую кровь новой порции молодых эритроцитов. Значения контрольной группы при этом не были достигнуты.

Полученные результаты позволили выявить особенности реактивных изменений показателей эритроцитов у пожарных-спасателей под воздействием экстремальных профессиональных факторов, что позволяет рекомендовать их исследование в качестве доступных индикаторов при мониторинге функционального состояния с целью ранней диагностики и профилактики адаптационной напряженности.

Список литературы

1. 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.
2. Егорова Е. Н., Пустовалова Р. А., Горшкова М. А. Клинико-диагностическое значение эритроцитарных индексов, определяемых автоматическими гематологическими анализаторами // Верхневолжский медицинский журнал. 2014. № 3. С. 34–41.
3. Зинчук В. В. Деформируемость эритроцитов: физиологические аспекты // Успехи физиологических наук. 2001. Т. 32, № 3. С. 66–78.
4. Карчинская Т. В. Адаптационные возможности эритрона // Фундаментальные исследования в биологии и медицине: сборник научных работ. Вып. 3. Ставрополь: Изд-во Северо-Кавказского ГТУ, 2007. С. 11–14.
5. Катюхин Л. Н. Способ оценки водной проницаемости мембран с помощью профилей осмотической деформируемости эритроцитов // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2014. Т. 157, № 1. С. 129–132.
6. Климов Е. А. Пути в профессионализм. М.: Московский психолого-социальный институт: Флинта, 2003. 320 с.
7. Козлова Е. К., Черняев А. П., Черныш А. М., Алексеева П. Ю., Козлов А. П., Близняк У. А. Диагностика скрытых повреждений мембран эритроцитов в результате воздействия физико-химических факторов // Технология живых систем. 2007. № 4 (1). С. 28–37.
8. 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.
9. Орлов Ю. П. Внутрисосудистый гемолиз эритроцитов в развитии органических дисфункций при критических состояниях // Общая реаниматология. 2008. Т. 4, № 2. С. 88–93.
10. Руководство по гематологии в 3 т. / А. И. Воробьев. 3 изд., перераб. и доп. М: Ньюдиамед, 2002. 280 с.
11. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса «Критерии и классификация условий труда» Р2.2.2006-05 от 29 июля 2005 г. URL: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/46/46047 (дата обращения: 23.05.2016)
12. 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.
13. Способ определения осмотической резистентности эритроцитов: пат. 2328741 Рос. Федерация / Горшкова М. А., Миллер Д. А., Егорова Е. Н., Федотова Т. А.; опубл. 10.07.2008. Бюл. № 19.

References

1. 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]
2. Egorova E. N., Pustovalova R. A., Gorshkova M. A. Clinical and diagnostic value of the erythrocyte indices, determined by automatic hematology analyzer. *Verhnevolskii meditsinskii zhurnal* [Upper Volga Medical Journal]. 2014, 3, pp. 34-41. [in Russian]
3. Zinchuk V. V. The deformability of red blood cells : physiological aspects. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk*

[Advances of Physiological Sciences]. 2001, 32 (3), pp. 66-78. [in Russian]

4. Karchinskaja T. V. Adaptatsionnye vozmozhnosti eritrona [Adaptation possibilities of erythron]. In: *Fundamental'nye issledovaniia v biologii i meditsine. Sbornik nauchnykh rabot* [Fundamental research in biology and medicine. Digest of Scientific Papers]. Stavropol, 2007, iss. 3, pp. 11-14.

5. Katyukhin L. N. Method for evaluating a water permeability of membranes using profiles osmotic deformability of red blood cells. *Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny* [Bulletin of Experimental Biology and Medicine]. 2014, 157 (1), pp. 129-132. [in Russian]

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

7. 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]

8. 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 kletochnogo sostava krovi s primeneniem gematologicheskikh analizatorov»* [The standardized technology "Study blood cell composition with hematology analyzers"]. Moscow, 2014, 67 p.

9. Orlov Yu. P. Vnutrisosudisty gemoliz eritrotsitov v razvitiu organnykh disfunktsiy pri kriticheskikh sostoyaniyakh [Intravascular hemolysis in the development of organ dysfunction in critical conditions]. *Obshchaya reanimatologiya* [General resuscitation]. 2008, 4 (2), pp. 88-93. [in Russian]

10. Vorob'ev A. I. *Rukovodstvo po gematologii v 3 tomah* [Hematology in 3 volumes]. Moscow, 2002, 280 p.

11. *Rukovodstvo po gigenicheskoi otsenke faktorov rabochei sredy i trudovogo protsessa «Kriterii i klassifikatsiya uslovii truda» R2.2.2006-05 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" R2.2.2006-05, 29.07.2005]. Available at: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/46/46047 (accessed 23.05.2016)

12. Salova N. V., Gorshkova M. A., Ivanova O. V. *Sposob opredeleniya deformiruemosti eritrotsitov metodom fil'tratsii po metodike Z. D. Fedorovoi i soavt. (pat. Ros. Federatsiya 2000117531. Sposob otsenki deformiruemosti 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.

13. *Sposob opredeleniya osmoticheskoi rezistentnosti eritrotsitov* [Method for determining the erythrocyte osmotic resistance]. Gorshkova M. A., Miller D. A., Egorova E. N., Fedotova T. A. Patent RF, no. 2328741]. Bull. no. 19, 10.07.2008.

Контактная информация:

Макарова Ирина Илларионовна – доктор медицинских наук, профессор, зав. кафедрой физиологии ФГБОУ ВО «Тверской государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Адрес: 170100, г. Тверь, ул. Советская, д. 4
E-mail: iim777@yandex.ru