

УДК: 577.115.3; 356/359; 159.91  
<https://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-2-68-76>

## РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ПРОФИЛЯ ЖИРНЫХ КИСЛОТ КРОВИ СОТРУДНИКОВ СИЛОВЫХ ВЕДОМСТВ

<sup>1,2</sup>А.Ю. Людина\*, <sup>1,2</sup>О.И. Паршукова, <sup>1,2</sup>Е.Р. Бойко

<sup>1</sup> Институт физиологии Федерального исследовательского центра Коми научного центра УрО  
РАН, г. Сыктывкар, Россия

<sup>2</sup> Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина, г. Сыктывкар, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Изучение профиля жирных кислот (ЖК) как энергетического и функционального звена физической работоспособности у представителей силовых структур на разных этапах несения службы представляется весьма актуальным.

**ЦЕЛЬ:** Оценить влияние боевого стресса на профиль ЖК крови сотрудников силовых структур.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Ретроспективно проведен анализ профиля ЖК плазмы крови у 25 сотрудников отряда специального назначения ОМОНа до и после 4-месячной служебной командировки по выполнению специального задания, связанного с риском для здоровья и жизни. Группа сравнения ( $n = 12$ ) – военнослужащие МЧС. Уровень пула ЖК в общих липидах плазмы крови определяли методом газовой хроматографии.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** При первичном обследовании сотрудников спецназа выявлена более высокая доля гиперхолестеринемичной миристиновой кислоты в обеих группах относительно рекомендуемой нормы. Уровень этой кислоты у сотрудников ОМОНа составлял в среднем 1,5 mol % и был значимо выше, чем у мужчин группы сравнения ( $p = 0,028$ ). Установлен сниженный относительно фоновых значений уровень эссенциальных n-3 полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) в плазме крови ( $\alpha$ -линоленовой и эйкозапентаеновой) у сотрудников ОМОНа на фоне высокой доли n-6 линолевой кислоты, о чем свидетельствует высокое значение индекса n-6/n-3 – 13,8/1 (при рекомендуемых нормах ВОЗ 5–7/1). Повторное обследование сотрудников ОМОНа, проведенное после командировки, показало значимое снижение уровня насыщенных ( $p = 0,040$ ) и эссенциальных n-3 докозагексаеновой ( $p < 0,001$ ) и  $\alpha$ -линоленовой кислот ( $p = 0,003$ ) в липидах крови у 92 % и 68 % обследуемых соответственно. При этом доля докозагексаеновой кислоты в крови обратно коррелировала с показателем личностной тревожности (тест Спилбергера–Ханина) ( $r = -0,32$ ;  $p = 0,028$ ).

**ОБСУЖДЕНИЕ:** Профессиональная деятельность сотрудников силовых ведомств и наличие регулярного психоэмоционального напряжения наиболее значимо оказывают влияние на эссенциальное звено жирных кислот. Проведенное исследование свидетельствует о необходимости оптимизации рациона питания сотрудников отдела специального назначения и дополнительного приема препаратов, в том числе обогащенных n-3 ПНЖК.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** морская медицина, жирные кислоты, n-3 докозагексаеновая кислота,  $\alpha$ -линоленовая кислота, боевой стресс, бойцы ОМОНа; сотрудники МЧС, функциональное состояние

\*Для корреспонденции: Людина Александра Юрьевна, e-mail: [salu\\_06@inbox.ru](mailto:salu_06@inbox.ru)

\*For correspondence: Alexandra Yu. Lyudinina, e-mail: [salu\\_06@inbox.ru](mailto:salu_06@inbox.ru)

**Для цитирования:** Людина А.Ю., Паршукова О.И., Бойко Е.Р. Ретроспективный анализ профиля жирных кислот крови сотрудников силовых ведомств // *Морская медицина*. 2023. Т. 9, No. 2. С. 68–76, doi: <https://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-2-68-76> EDN: <https://elibrary.ru/MYQLYD>

**For citation:** Lyudinina A.Yu., Parshukova O.I., Boyko E.R. Retrospective analysis of blood fatty acids profile on member of the military // *Marine medicine*. 2023. Vol. 9, No. 2. P. 00–00, doi: <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-2-68-76> EDN: <https://elibrary.ru/MYQLYD>

© Авторы, 2023. Издатель ООО Балтийский медицинский образовательный центр. Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа», в соответствии с лицензией ССВУ-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-Share-Alike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии указания автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru>

## RETROSPECTIVE ANALYSIS OF BLOOD FATTY ACIDS PROFILE ON MEMBER OF THE MILITARY

<sup>1,2</sup> Alexandra Yu. Lyudinina\*, <sup>1,2</sup> Olga I. Parshukova, <sup>1,2</sup> Evgeny R. Bojko

<sup>1</sup> Department of Ecological and Medical Physiology Institute of Physiology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

<sup>2</sup> Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia

**INTRODUCTION:** The study of the profile fatty acids (FA) as an energy and functional link of physical performance among enforcement agencies seems to be very relevant.

**OBJECTIVE:** Assessment of the blood FA profile of the body of military before and after a 4-month special duty associated with health and life risks.

**MATERIALS AND METHODS:** This prospective, between-subjects, repeated measures, study was conducted during 2014 year. 25 OMON fighters of the Komi Republic were examined before the trip and after a 4-month trip to the North Caucasus, where they constantly experienced combat stress. As a comparison group - employees of the Ministry of Emergency Situations (12 man). The level of FAs pool in total blood plasma lipids was determined by gas chromatography.

**RESULTS:** During the initial examination of OMON fighters, a higher proportion of hypercholesterolemic myristic acid was revealed in both groups relative to the recommended norms. Its level was significantly higher in the special forces group and averaged 1.5 mol% ( $p = 0.028$ ). The level of essential n-3 polyunsaturated fatty acids (PUFAs) in the blood plasma ( $\alpha$ -linolenic and eicosapentaenoic acids) reduced relative to the baseline values in the participants against the background of a high proportion of linoleic acid was established, as evidenced by the high value of the n6/n3 index - 13.8 / 1 at the recommended standards of WHO 5- 7/1. A re-examination of OMON officers conducted after a trip showed a significant decrease in the level of saturated ( $p=0.040$ ) and essential n-3 docosahexaenoic ( $p=0.000$ ) and  $\alpha$ -linolenic acids ( $p=0.003$ ) in blood lipids in 92% and 68% of the subjects respectively. At the same time, the proportion of docosahexaenoic acid in the blood negative correlated with the indicator of personal anxiety ( $r = -0.32$ ;  $p=0.028$ ).

**DISCUSSION:** The professional activity of military and the presence of regular psycho-emotional stress most significantly affect the essential part of fatty acids. The conducted study indicates the need to optimize the diet of participants and additional intake of food supplement, n-3 PUFAs enriched.

**KEYWORDS:** marine medicine, fatty acids, n-3 docosahexaenoic acid,  $\alpha$ -linolenic acid, combat stress, OMON fighters; employees of the MES, functional state

**Введение.** Профессиональная деятельность специалистов силовых министерств и ведомств зачастую протекает в экстремальных условиях с реальной витальной угрозой. Организм военнослужащего испытывает повышенное функциональное напряжение, приводящее к изменению нервной и эндокринной регуляции, уменьшению энергетических резервов и неблагоприятным метаболическим сдвигам [1, 2]. Для сотрудников силовых ведомств, принимавших участие в боевых операциях (Афганистан, Иран), характерны метаболические нарушения с превалированием катаболических реакций и различные психические отклонения (например, посттравматическое стрессовое расстройство) [3, 4].

В настоящее время признана потенциальная польза оптимального состава пищевых жиров для здоровья и функционального состояния организма военнослужащих [2,5]. Жирные кислоты (ЖК) и их производные – фосфолипиды – являются не только структурным компонентом центральной нервной системы и медиаторами биологических сигналов, но и важнейшими

участниками функциональной активности. Особая роль среди хорошо зарекомендовавшей себя нутритивной поддержки в последнее время придается полиненасыщенным жирным кислотам (ПНЖК) [6, 7]. Из классов n-3 и n-6 ПНЖК являются незаменимыми ЖК, то есть не могут быть синтезированы в организме человека, лишь в ограниченном количестве взаимопревращаются и должны поступать с питанием или пищевыми добавками [8]. Незаменимые n-3 и n-6 ПНЖК играют важную роль в различных физиологических функциях, однако их эффекты носят противоположный характер [9].

Показано, что уровни n-3 и n-6 ПНЖК в организме военнослужащих ассоциированы с когнитивными функциями и психологическим здоровьем. Так, данные о самоубийствах среди военнослужащих США выявили дефицит потребления n-3 ПНЖК, при этом внимание обращено на необходимость четко спланированных интервенционных исследований [4, 10]. Данные нескольких метаанализов проспективных когортных исследований указывают на то, что использование средиземноморской

диеты (высокие уровни n-3 ПНЖК, такие как эйкозапентаеновая (ЭПК) и докозагексаеновая (ДГК) кислоты) снижает риск клинической депрессии, показывает эффективность при синдроме дефицита внимания и гиперактивности у военнослужащих [4]. Кроме того, известно об энергетической роли эссенциальных жиров в повышении физической работоспособности (ФР) [7,11]. Так, показана ассоциация между недостаточностью потребления эссенциальной  $\alpha$ -линоленовой кислоты (ЛНК) и скоростью окисления жира и в целом низкой аэробной работоспособностью [7]. Единичные данные литературы [2] о содержании ЖК в крови профессиональных военнослужащих свидетельствуют об актуальности и новизне изучаемой темы. Следовательно, можно предположить, что боевой стресс способен приводить к формированию эссенциальных дефицитов липидного профиля военнослужащих.

**Цель.** Оценить влияние боевого стресса на профиль жирных кислот крови сотрудников силовых структур.

**Материалы и методы.** В ретроспективном когортном исследовании приняли участие представители силовых ведомств (работники штаба МЧС и оперативный состав) ( $n = 37$ ). Выбранные контингенты близки по организации образа жизни, но имеют разный уровень стресса.

Дважды обследованы 25 сотрудников отряда специального назначения (ОМОН): до командировки (ноябрь) и после командировки (март), в которой они находились в условиях угрозы не только здоровью, но и жизни, то есть постоянно переживали стресс. Это были практически здоровые мужчины – жители разных районов Республики Коми. Средний возраст испытуемых составил  $34,9 \pm 0,9$  года, рост –  $178,3 \pm 1,1$  см, масса тела –  $89,1 \pm 2,8$  кг, индекс массы тела –  $28,0 \pm 0,8$  кг/м<sup>2</sup>.

В качестве группы сравнения были выбраны работники штаба МЧС: операторы, которые находились на рабочем месте ( $n = 12$ ), средний возраст составил  $33,9 \pm 1,9$  года, рост –  $173,8 \pm 1,2$  см, масса тела –  $84,6 \pm 3,1$  кг, индекс массы тела –  $27,9 \pm 0,7$  кг/м<sup>2</sup>.

Критериями допуска к исследованию являлись наличие военной специализации, отсутствие острых и хронических заболеваний и признаков ОРВИ. Некоторые из обследуемых принимали витаминные комплексы, не содержащие n-3 ПНЖК. Протоколы исследования

(от 01.11.2013 и 28.12.2022) рассмотрены и одобрены локальным комитетом по биоэтике Института физиологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, обследуемые дали информированное согласие на участие. Все процедуры проведены в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации.

*Анализ профиля жирных кислот в крови.* Определение содержания ЖК в плазме крови методом газовой хроматографии является наиболее надежным биомаркером потребления ЖК и функционального состояния организма человека. Данный метод отличается универсальностью, высокой чувствительностью, точностью и позволяет быстро выявлять изменения в составе органических соединений в различных биологических жидкостях человека, а значит получать наиболее комплексные и информативные данные.

Взятие венозной крови осуществляли натощак в покое. Уровень общего пула ЖК в общих липидах (фракция включает неэтерифицированные ЖК, фосфолипиды, триглицериды и этерифицированный холестерин) плазмы крови определяли методом газовой хроматографии («Кристалл 2000М» с пламенно-ионизационным детектором на капиллярной колонке SupelcoWAX в режиме программирования температуры) с предварительным экстрагированием липидов по методу Фольча и получением метиловых эфиров ЖК. Идентификацию ЖК осуществляли с использованием стандартов фирмы Sigma. Количественный расчет уровней ЖК проводили методом абсолютной градуировки в программе «Аналитик 1.21» (ЗАО СКБ «Хроматэк», Йошкар-Ола). Содержание индивидуальных ЖК представлено в % от общего пула ЖК. В качестве нормы взяты референсные значения [12].

*Статистическую обработку* результатов осуществляли при помощи программы Statistica (версия 8.0, StatSoft, Inc. 2007). Учитывая немногочисленность исследуемых выборок и существенные индивидуальные различия в значениях определяемых показателей, проводили проверку данных на характер распределения (критерий Шапиро–Уилка). Поскольку полученные данные не подчинялись нормальному закону распределения, использовали непараметрические методы сравнения –  $U$ -критерий Манна–Уитни и  $T$ -критерий Вилкоксона. Результаты представлены в виде  $X \pm SD$ . Критерии

тическим уровнем значимости статистических гипотез считали  $p < 0,05$ . Взаимосвязь признаков оценивали с помощью метода ранговой корреляции Спирмена.

**Результаты.** Полученные результаты по профилю ЖК в плазме крови обследуемых групп представлены в табл. 1.

Сравнение профиля ЖК плазмы крови у представителей обеих групп выявило, что большинство исследуемых показателей находилось в пределах общепринятых нормативов [12] (см. табл. 1). Отмечено более высокое содержание миристиновой (С14 : 0) и n-6 линолевой кислот (С18 : 2) относительно рекомендуемой нормы в обеих группах. При этом, несмотря на аналогичные значения возраста, массы тела и ИМТ, в обследуемых группах были выявлены вариации в содержании насыщенных и эссенциальных ЖК. У сотрудников спецназа доля миристиновой кислоты в плазме крови была значимо выше по сравнению с сотрудниками МЧС. Установлен более низкий уровень n-6 линолевой кислоты сотрудников спецназа на 15 % относительно группы сравнения. Среднее значение n-6 линолевой кислоты у сотрудников ОМОНа значимо ниже группы сравнения и составило  $31,9 \pm 5,8 \text{ mol } \%$  (с лимитами 16,2–43,3 %). Также следует отметить существенный дефицит эссенциальной n-3 ЛНЖ (С18 : 3) у со-

трудников спецназа по сравнению со служащими МЧС, уровень которой находился на нижней границе нормы.

Повторное исследование среди сотрудников спецназа после командировки в целом выявило значимое снижение уровня насыщенных и полиненасыщенных ЖК, повышение индекса n-6/n-3 (табл. 2; рис. 1).

После командировки в условиях боевого стресса выявлено снижение в 1,5 раза уровня n-3 ЛНЖ (С18 : 3) ( $p < 0,01$ ) и, что наиболее интересно, n-3 ДГЖ ( $p < 0,001$ ) среди сотрудников МЧС ( $0,8 \pm 1,3 \text{ mol } \%$ ), в отличие от фоновых значений этого показателя у сотрудников ОМОНа ( $3,0 \pm 2,1 \text{ mol } \%$ ). Снижение доли ДГЖ в плазме крови военнослужащих после выполнения боевой задачи составило более 70 %.

При первичном обследовании сотрудников спецназа выявлен пониженный уровень эссенциальных n-3 ПНЖЖ в плазме крови (см. табл. 1), о чем свидетельствует высокое значение индекса n-6/n-3 –  $13,8 / 1$  (с лимитами 2,8–29,5) для бойцов ОМОНа, а для сотрудников МЧС –  $13,6$  (с лимитами 7,3–21,0) при рекомендуемых нормах ВОЗ 5–7/1 (см. рис. 1). После выполнения задания этот показатель у сотрудников спецназа вырос до значений  $20,2/1$  (с лимитами 5,5–61,9).

**Обсуждение.** Сравнение профиля жирных кислот плазмы крови у представителей обеих

Таблица 1

Профиль жирных кислот плазмы крови в группах обследования ( $X \pm SD$ )/%

Table 1

Profile of plasma fatty acids in the study groups ( $X \pm SD$ )/%

Жирные кислоты (ЖК)	Спецназ	МЧС	p-уровень	Рекомендуемые нормы
<b>Насыщенные ЖК</b>				
Миристиновая, С14:0	$1,5 \pm 1,5$	$1,1 \pm 0,3$	0,044	0,8–1,0
Пальмитиновая, С16:0	$24,6 \pm 3,7$	$25,3 \pm 2,3$	0,283	23,0–30,0
Стеариновая, С18:0	$8,8 \pm 1,7$	$8,8 \pm 0,8$	0,973	8,0–15,0
<b>Моноеновые ЖК</b>				
Пальмитолеиновая, С16:1	$1,7 \pm 0,5$	$2,9 \pm 4,4$	0,161	1,5–2,8
Олеиновая, С18:1	$15,9 \pm 3,4$	$16,8 \pm 1,7$	0,353	12,0–19,5
<b>Полиненасыщенные ЖК</b>				
Линолевая, n-6 С18:2	$31,9 \pm 5,8$	$37,5 \pm 3,9$	0,005	19,4–30,5
Линоленовая, n-3 С18:3	$0,3 \pm 0,1$	$1,1 \pm 0,2$	0,000	0,3–0,6
Арахидоновая, n-6 С20:4	$6,3 \pm 1,5$	$7,0 \pm 1,8$	0,611	5,5–9,0
Эйкозапентаеновая, n-3 С20:5	$0,6 \pm 0,5$	$1,1 \pm 0,9$	0,149	1,0–2,10
Докозагексаеновая, n-3 С22:6	$3,0 \pm 2,1$	$1,5 \pm 0,4$	0,000	2,4–4,0

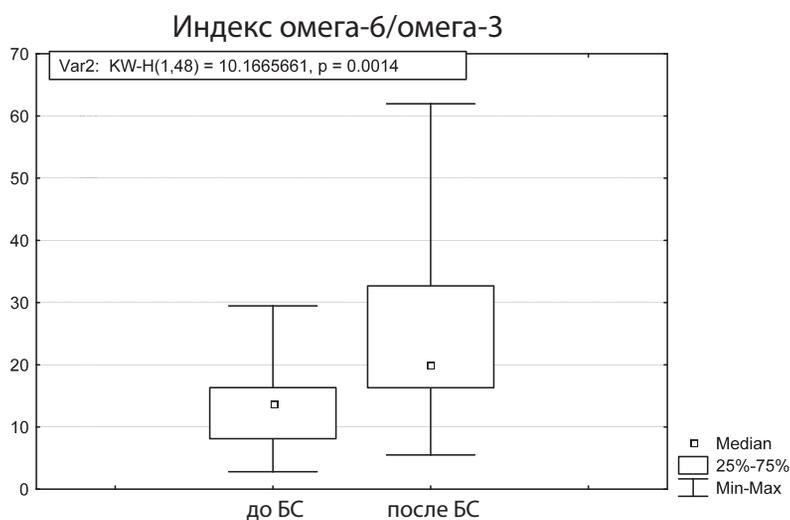
Таблица 2

**Показатели состава жирных кислот плазмы крови у сотрудников спецназа на фоне боевого стресса (X±SD)**

Table 2

**Parameters of plasma fatty acids of military after combat stress (X±SD)**

Жирные кислоты (ЖК)	До боевого стресса	После боевого стресса	p-уровень
<b>Насыщенные ЖК</b>	34,9 ± 6,6	30,4 ± 10,3	0,025
Миристиновая, C14:0	1,5 ± 1,5	0,9 ± 0,4	0,173
Пальмитиновая, C16:0	24,6 ± 3,7	23,0 ± 6,0	0,566
Стеариновая, C18:0	8,8 ± 1,7	7,8 ± 1,9	0,225
<b>Моноеновые ЖК</b>	17,6 ± 3,7	17,3 ± 5,7	0,776
Пальмитолеиновая, C16:1	1,7 ± 0,5	1,7 ± 0,8	0,718
Олеиновая, C18:1	15,9 ± 3,4	15,5 ± 5,3	0,798
<b>Полиненасыщенные ЖК</b>	42,3 ± 6,5	37,9 ± 9,9	0,038
Линолевая, C18:2 n6	31,9 ± 5,8	30,0 ± 8,1	0,003
Линоленовая, C18:3 n3	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,001
Арахидоновая, C20:4 n6	6,3 ± 1,5	6,2 ± 2,1	0,509
Эйкозапентаеновая, C20:5 n3	0,6±0,5	0,5±0,4	0,782
Докозагексаеновая, C22:6 n3	3,0±2,1	0,8±1,3	0,000



**Рис. 1.** Индекс n6/n3 в крови сотрудников спецназа до и после командировки (БС – боевой стресс).  
**Fig.1.** n6/n3 index in the blood of military before and after a combat stress.

групп выявило, что большинство исследуемых показателей находилось в пределах общепринятых нормативов (см. табл. 1). При этом, несмотря на аналогичные значения возраста, массы тела и ИМТ, в группах были отмечены вариации в содержании насыщенных и эссенциальных ЖК. Установлено значимо более высокое содержание миристиновой кислоты в обеих группах. В тканях человека и животных эта кислота присутствует в относительно низких

концентрациях, в среднем 1 % от всей массы ЖК [13]. Результаты мета-анализа E. Fattore и соавт. [14] с участием 1526 добровольцев показывают, что основные пищевые насыщенные жиры (пальмитиновая, стеариновая, лауриновая и миристиновая кислоты) по-разному влияют на профиль липидов: миристиновая и лауриновая кислоты в большей степени повышают содержание всех фракций холестерина (например, общего холестерина, фракций холесте-

на липопротеинов низкой плотности (ЛПНП), липопротеинов высокой плотности (ЛПВП), триглицеридов, аполипопротеина А-I и аполипопротеина В), чем пальмитиновая кислота, а пальмитиновая кислота увеличивает все фракции холестерина больше, чем стеариновая кислота. Многофакторный регрессионный анализ выявил связь миристиновой ЖК с повышенным риском ИБС [13].

Известно, что уровень различных ПНЖК в крови и других тканях и органах человека напрямую зависит от питания [2, 15]. Особенность современной западной диеты, как отмечают многие исследователи, заключается в практически полном отсутствии n-3 ПНЖК в рационе, при этом потребление n-6 ПНЖК резко увеличено, что выражается в относительно высоком индексе n-3/n-6 ~ 10–20:1 [9]. ЛНЖ содержится в продуктах растительного происхождения, таких как льняное семя, грецкие орехи, рапсовое масло, и человеческий организм способен незначительно конвертировать ЛНЖ в длинноцепочечные ЭПК и ДГК (в среднем < 8 %). В основном n-3 ЭПК и ДГК содержатся в продуктах животного происхождения и в избытке присутствуют в жирной рыбе. n-6 ПНЖК включают линолевую и арахидоновую кислоты и находятся в большом количестве в соевом, кукурузном, подсолнечном, сафлоровом, хлопковом маслах и большинстве жиросодержащих продуктов [8].

Уровень n-6 линолевой кислоты как у сотрудников спецназа, так и сотрудников МЧС, находился на верхней границе рекомендуемой нормы. Основная роль линолевой кислоты в организме человека – биохимический предшественник физиологически важных длинноцепочечных ПНЖК, таких как арахидоновая кислота, с последующим синтезом провоспалительных эйкозаноидов (простагландин Е2), лейкотриена В4 и тромбоксана А4 [9, 13].

Содержание незаменимых n-3 ПНЖК в крови обследуемых также отличалось от рекомендуемых норм и с высокой степенью вероятности обусловлено рационом питания. Общеизвестно, что пониженный уровень n-3 ПНЖК в тканях организма человека коррелирует с сердечно-сосудистыми, неврологическими и прочими заболеваниями [9, 13]. Метаболизм n-3 ПНЖК в крови человека связан с образованием высокоактивных регуляторов – эйкозаноидов, обеспечивающих противовоспалительные эффекты, реализуемых посредством ингибирования

циклооксигеназы-2 и синтеза интерлейкина (ИЛ)-1, ИЛ-6, фактора некроза опухоли α (ФНО-α) и белков острой фазы, а также путем противодействия избыточной активности Т-лимфоцитов и клеток моноцитарного ряда [16]. Выраженный дефицит в крови ЭПК у обследуемых ( $0,6 \pm 0,5 \text{ mol } \%$ ) может свидетельствовать об активном окислительном стрессе в организме, поскольку известно, что ЭПК ингибирует процессы перекисного окисления липидов в мембранных везикулах, а также ЭПК улучшает баланс между оксидом азота и пероксинитритом и действует синергетически со статинами [17]. Кроме того, ЭПК ослабляет индуцированное пальмитиновой кислотой образование АФК, экспрессию молекул адгезии и цитокинов, активацию связанных с апоптозом белков [18]. Механизм влияния ЭПК на развитие атеросклероза заключается в воздействии на эндотелиальную дисфункцию и окислительный стресс, а также в усилении синтеза эйкозаноидов (которые расширяют сосуды и уменьшают тромбообразование и воспаление), облегчении атерогенной дислипидемии [13].

Выявлен значимо более низкий уровень ДГК среди сотрудников МЧС ( $1,5 \pm 0,4 \text{ mol } \%$ ), в отличие от нормальных значений этого показателя у сотрудников ОМОНа ( $3,0 \pm 2,1 \text{ mol } \%$ ). ДГК (n-3 С22 : 6) имеет уникальную стереохимическую структуру, отличается наибольшей ненасыщенностью, обеспечивает эффективное проведение сигнала в нейронах, предотвращая спазмы сердца и сосудов, может оказывать антитромботическое, антиатерогенное, антиаритмическое и вазопротекторное действие [13]. ДГК снижает такие маркеры воспаления, как ИЛ-1β, ФНО-α и ИЛ-6. Имеются данные о том, что низкая концентрация ДГК может быть биомаркером эндотелиальной дисфункции [19].

Повторное обследование сотрудников спецназа после командировки выявило ухудшение функционального состояния по большинству показателей и почти двукратное увеличение числа лиц с истощением регуляторных систем. Биохимическая реакция на стресс проявлялась в сниженном уровне гамма-глутамилтрансферзы, повышенном содержании продуктов перекисного окисления (кротоновый альдегид и диеновые конъюгаты), что свидетельствовало об активизации процессов свободнорадикального окисления [1]. Согласно нашим данным, боевой стресс также отразился

на профиле ЖК обследуемых. В целом показано значимое снижение уровня насыщенных и полиненасыщенных ЖК, повышение индекса  $n-6/n-3$  (см. табл. 2 и рис. 1).

Насыщенные ЖК (средне- и длинноцепочечные) могут быть эндогенно синтезированы в организме и традиционно являются основными кислотами, вовлеченными в энергообеспечение аэробных нагрузок средней интенсивности. Таким образом, значительное снижение доли насыщенных ЖК после боевого стресса, по-видимому, является прямым следствием изменения метаболизма ЖК, вероятно, в результате частичного поглощения этих ЖК мышцами из-за более высокого уровня физической активности и нервного напряжения обследуемых.

Соотношение  $n-6/n-3$  более 8,0 в плазме крови (см. рис. 1), что наблюдается в нашем случае, является маркером сердечно-сосудистого риска [12], может приводить к развитию воспаления и повышенному свертыванию крови [9], а также увеличению тревожности и суицидальных мыслей [8]. Такая неблагоприятная динамика обусловлена в первую очередь снижением при проведении боевой операции доли эссенциальных  $n-3$  докозагексаеновой и  $\alpha$ -линоленовой кислот в липидах крови у 92 % и 68 % сотрудников соответственно (см. табл. 2).

Судя по табл. 2, следует отметить ключевое участие эссенциальных ЖК ( $n-3$  докозагексаеновой и  $\alpha$ -линоленовой кислот) в предотвращении негативного влияния боевого стресса на организм и здоровье военнослужащих. Учитывая плейотропные эффекты данных эссенциальных  $n-3$  ПНЖК и с учетом стандартизированного питания военных, можно предположить их участие в нейтрализации окислительного стресса, образовании противовоспалительных цитокинов и важной роли в качестве сигнальных молекул, а также участие в энергообеспечении ФР. Подробнее функциональная роль этих кислот в поддержании ФР была описана ранее [7, 11]. Механизмы действия  $n-3$  ПНЖК различны, среди них стоит отметить повышение текучести клеточной мембраны, изменение работы ионных каналов и рецепторов, уменьшение продукции воспалительных эйкозаноидов, цитокинов и активных форм кислорода, способствующих иммуномодулирующему и противовоспалительному действию на организм [6,20]. Тем не менее до сих пор ведутся споры о высокой эффективности и эргогенных

свойствах добавок, содержащих  $n-3$  ПНЖК среди спортсменов и военнослужащих [20, 21].

Исходя из установленных свойств  $n-3$  ПНЖК в реализации нейрональных функций (в качестве компонентов нейрональных мембран и предшественников сильнодействующих нейротропных медиаторов), мы провели оценку связи показателей эмоциональной сферы с содержанием эссенциальных ЖК крови сотрудников. При корреляционном анализе было выявлено, что ЭПК в плазме крови сотрудников отдела специального назначения ассоциирована ( $r = 0,32$ ;  $p = 0,032$ ) с показателем активности, определяемом по методике «САН», а доля ДГК в крови обратно коррелировала с личностной тревожностью (тест Спилбергера–Ханина) ( $r = -0,32$ ;  $p = 0,028$ ). Показана благоприятная роль сочетаний данных кислот (ЭПК + ДГК) при различных психических нарушениях среди военных. Поперечное исследование, проведенное D.T. Johnston и соавт. [22], по уровням  $n-3$  ПНЖК и нейрокогнитивным функциям среди военнослужащих с легкой или умеренной депрессией показало, что индекс омега-3 составлял  $3,5 \pm 0,7$  % (диапазон от 1,7 до 5,7 %) и прямо коррелировал с когнитивной гибкостью [22]. Ряд авторов сообщили о связи между низкой долей ДГК и в целом  $n-3$  ПНЖК в сыворотке крови и случаях самоубийств у военнослужащих США [4, 10].

**Заключение.** Таким образом, профессиональная деятельность сотрудников силовых ведомств (МЧС, ОМОНа) и наличие регулярного психоэмоционального напряжения ассоциированы с модификацией профиля жирных кислот плазмы крови, о чем свидетельствует высокое значение индекса  $n-6/n-3 = 13,8/1$  при рекомендуемых нормах ВОЗ 5/1. Наиболее чувствительны к боевому стрессу незаменимые  $n-3$   $\alpha$ -линоленовая и докозагексаеновая кислоты, уровень которых после командировки значимо ниже фонового в 1,5 и 3,5 раза соответственно. Проведенное исследование свидетельствует о необходимости оптимизации рациона питания сотрудников отдела специального назначения и дополнительного приема препаратов, в том числе обогащенных  $n-3$  ПНЖК.

**Ограничения исследования.** Совместное изучение рациона питания и показателей физической работоспособности с липидными маркерами функционального состояния сотрудников силовых ведомств, несомненно, повысило бы качество и новизну исследования.

**Сведения об авторах:**

*Людинаина Александра Юрьевна* — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела экологической и медицинской физиологии Института физиологии ФИЦ Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 50; e-mail: salu\_06@inbox.ru; старший преподаватель кафедры биохимии и физиологии, Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина, г. Сыктывкар, Россия. ORCID: 0000-0003-4849-4735

*Паршукова Ольга Ивановна* — кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела экологической и медицинской физиологии Института физиологии ФИЦ Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 50; e-mail: olga-parshukova@mail.ru; доцент кафедры биохимии и физиологии, Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина, г. Сыктывкар, Россия. ORCID: 0000-0003-1862-6936

*Бойко Евгений Рафаилович* — доктор медицинских наук, профессор, директор Института физиологии ФИЦ Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 50; e-mail: boiko60@inbox.ru; заведующий кафедрой биохимии и физиологии, Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина, г. Сыктывкар, Россия. ORCID: 0000-0002-8027-898X

**Information about the authors:**

*Alexandra Yu. Lyudinina* — Cand. of Sci. (Biol.), Senior Researcher of the Institute of Physiology of the FIT Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 167982, Syktyvkar, Pervomayskaya str., 50; e-mail: salu\_06@inbox.ru; Senior Lecturer of the Biochemistry and Physiology Department, Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia. ORCID: 0000-0003-4849-4735

*Olga I. Parshukova* — Cand. of Sci. (Biol.), Researcher of the Institute of Physiology of the FIT Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 167982, Syktyvkar, Pervomayskaya str., 50, e-mail: olga-parshukova@mail.ru; Lecturer of the Biochemistry and Physiology Department, Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia. ORCID: 0000-0003-1862-6936

*Evgeny R. Bojko* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Director of the Institute of Physiology of the FIT Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 167982, Syktyvkar, Pervomayskaya str., 50, e-mail: boiko60@inbox.ru; Head of the Biochemistry and Physiology Department. Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia. ORCID: 0000-0002-8027-898X

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

*Наибольший вклад распределен следующим образом:* концепция и план исследования – А.Ю. Людинаина, Е.Р. Бойко; сбор данных – А.Ю. Людинаина, статистическая обработка полученного материала – О.И. Паршукова; подготовка рукописи – А.Ю. Людинаина.

**Authors' Contributions** All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

*Special contribution:* AYuL, ERB contribution to the concept and plan of the study. AYuL contribution to data collection. OIP contribution to data analysis and conclusions. AYuL contribution to the preparation of the manuscript.

**Финансирование работы.** Работа выполнена за счет средств субсидии на выполнение Государственного задания № ГР1021051201877-3-3.1.8 (2022–2026).

**Funding.** The study was carried out at the expense of subsidies for the implementation of State Assignment No. GR1021051201877-3-3.1.8 (2022–2026).

**Этические нормы.** Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены актами локального этического комитета Института физиологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН” (Сыктывкар) от 13.11.2013 и 28.12.2022гг.

**Ethics approval and consent to participate.** The subjects provided written informed consent to participate in the present study. The experimental protocol was in accordance with the Declaration of Helsinki. The study was designed and performed according to the guidelines of the Local Research Bioethics Committee of the Institute of Physiology of the Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (approval dates 13.11.2013 and 28.12.2022).

**Потенциальный конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests.** The authors declared no conflict of interests.

Поступила/Received: 10.04.2023

Принята к печати/Accepted: 02.05.2023

Опубликована/Published: 30.06.2023

**ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES**

1. Солонин Ю.Г., Варламова Н.Г., Вахнина Н.А., Логинова Т.П., Людинаина А.Ю., Марков А.Л., Потолицына Н.Н., Бойко Е.Р. Функциональное состояние бойцов ОМОН до и после командировки // *Морская медицина*. 2020. Т. 6, № 1. С. 64–73. [Solonin Yu.G., Varlamova N.G., Vakhnina N.A., Loginova T.P., Liudinina A.Yu., Markov A.L., Potolitsyna N.N., Bojko E.R. Functional state of OMON fighters before and after trip. *Marine Medicine*. 2020. Vol. 6. № 1. 64–73. (In Russ.)]. doi:10.22328/2413-5747-2020-6-1-64-73]

2. Bukhari A.S., Lutz L.J., Smith T.J., Hatch-McChesney A., O'Connor K.L., Carrigan C.T., Hawes M.R., McGra, S.M., Taylor K.M., Champagne C.M., et al. A Food-Based Intervention in a Military Dining Facility Improves Blood Fatty Acid Profile. *Nutrients*. 2022. Vol. 14. № 4. pp. 2–15. doi: 10.3390/nu14040743
3. Hoge C.W., Auchterlonie J.L., Milliken C.S. Mental health problems, use of mental health services, and attrition from military service after returning from deployment to Iraq or Afghanistan. *JAMA*. 2006. Vol. 295. № 9. P. 1023–1032.
4. Hibbeln J.R., Gow R.V. The Potential for Military Diets to Reduce Depression, Suicide, and Impulsive Aggression: A Review of Current Evidence for Omega-3 and Omega-6 Fatty Acids. *Military Medicine*. 2014. Vol. 179 (Issue suppl\_11). P. 117–128. doi: 10.7205/MILMED-D-14-00153
5. Marriott B.P., Hibbeln J.R., Killeen T.K., Magruder K.M., Holes-Lewis K., Tolliver B.K., Turner T.H. Design and methods for the Better Resiliency Among Veterans and non-Veterans with Omega-3's (BRAVO) study: A double blind, placebo-controlled trial of omega-3 fatty acid supplementation among adult individuals at risk of suicide. *Contemp. Clin. Trials*. 2016. Vol. 47. P. 325–333.
6. Mickleborough T.D. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids in Physical Performance Optimization // *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2013. No. 23. P. 83–96. doi: 10.1123/ijsnem.23.1.83
7. Lyudinina A., Bushmanova E., Varlamova N., Bojko E. Dietary and plasma blood  $\alpha$ -linolenic acid as modulator of fat oxidation and predictor of aerobic performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2020. T. 17. Vol. 1. № 57. P. 1–7. doi: 10.1186/s12970-020-00385-2
8. Vannice G., Rasmussen H. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Dietary Fatty Acids for Healthy Adults. *J. Acad. Nutr. Diet*. 2014. Vol. 14. P. 136–153.
9. Simopoulos A.P. The omega-6/omega-3 fatty acid ratio, genetic variation, and cardiovascular disease. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. 2008. Vol. 17. P.131–134.
10. Lewis M.D., Bailes J. Neuroprotection for the warrior: Dietary supplementation with omega-3 fatty acids. *Mil. Med.* 2011. Vol. 176, P. 1120–1127.
11. Бойко Е.Р. Физиолого-биохимические механизмы обеспечения спортивной деятельности зимних циклических видов спорта. Институт физиологии Федерального исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Сыктывкар. 2019. 256 с. [Bojko E.R. Physiological and biochemical mechanisms for ensuring sports activities in winter cyclic sports: monograph, Institute of Physiology of the Komi Federal Research Center of the Russian Scientific Center of the Ural Branch of the Academy of Sciences. Syktyvkar. 2019. P. 256 (In Russ.)].
12. Hodson L., Skeaff C.M., Fielding B.A. Fatty acid composition of adipose tissue and blood in humans and its use as a biomarker of dietary intake. *Progress in Lipid Research*. 2008. Vol. 47. P. 348–380. doi: 10.1016/j.plipres.2008.03.003
13. Shramko V.S., Polonskaya Y.V., Kashtanova E.V., Stakhneva E.M. and Ragino Yu.I. The Short Overview on the Relevance of Fatty Acids for Human Cardiovascular Disorders. *Biomolecules*. 2020. Vol. 10. P. 1127. doi: 10.3390/biom10081127
14. Fattore E., Bosetti C., Brighenti F., Agostoni C., Fattore G. Palm oil and blood lipid-related markers of cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis of dietary intervention trials. *Am. J. Clin. Nutr.* 2014. Vol. 99. P. 1331–1350. doi: 10.3945/ajcn.113.081190
15. Marangonia F., Colomboa C., Martiello A., Negrib E., Gallia C. The fatty acid profiles in a drop of blood from a fingertip correlate with physiological, dietary and lifestyle parameters in volunteers. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*. 2007. Vol. 76. P. 87–92. doi: 10.1016/j.plefa.2006.11.004
16. Xi S., Pham H., Ziboh W. A 15-hydroxyicosatrienoic acid (15-HETRE) suppresses epidermal hyperproliferation via the modulation of nuclear transcription factor (AP-1) and apoptosis. *Arch Dermatol Res*. 2000. Vol. 292. No. 8. P. 397–403.
17. Mason R.P., Jacob R.F., Corbalan J.J., Malinski T. Combination Eicosapentaenoic Acid and Statin Treatment Reversed Endothelial Dysfunction in HUVECs Exposed to Oxidized LDL. *J. Clin. Lipidol.* 2014. Vol. 8. P. 342–343. doi: 10.1016/j.jacl.2014.02.074
18. Ishida T., Naoe S., Nakakuki M., Kawano H., Imada K. Eicosapentaenoic Acid Prevents Saturated Fatty Acid-Induced Vascular Endothelial Dysfunction: Involvement of Long-Chain Acyl-CoA Synthetase. *J. Atheroscler. Thromb.* 2015. Vol. 22. P. 1172–1185. doi: 10.5551/jat.28167
19. Yang Y.C., Lii C.K., Wei Y.L., Li C.C., Lu C.Y., Liu K.L., Chen H.-W. Docosahexaenoic acid inhibition of inflammation is partially via cross-talk between Nrf2/heme oxygenase 1 and IKK/NF- $\kappa$ B pathways. *J. Nutr. Biochem.* 2013. Vol. 24. P. 204–212. doi: 10.1016/j.jnutbio.2012.05.003
20. Shei R.J., Lindley M.R., & Mickleborough T.D. Omega-3 polyunsaturated fatty acids in the optimization of physical performance. *Military Medicine*. 2014. Vol. 179 (11 Suppl.). P. 144–156. doi: 10.1123/ijsnem.23.1.83
21. Da Boit M., Hunter A.M., Gray S.R. Fit with good fat? The role of n-3 polyunsaturated fatty acids on exercise performance. *Metabolism*. 2017. No. 66. P. 45–54. doi: 10.1016/j.metabol.2016.10.007
22. Johnston D.T., Deuster P., Harris W.S., Macrae H., Dretsch M.N. Red blood cell omega-3 fatty acid levels and neurocognitive performance in deployed U.S. Servicemembers. *Nutr. Neurosci.* 2013. Vol. 16. pp. 30–38.