

Читать
онлайн
Read
online

Кушнерова Н.Ф.¹, Рахманин Ю.А.², Момот Т.В.³, Михайлова Р.И.²,
Рыжова И.Н.², Фоменко С.Е.¹, Спрыгин В.Г.¹, Другова Е.С.¹,
Мерзляков В.Ю.¹, Лесникова Л.Н.¹, Корякина Ю.П.⁴

Жирнокислотный состав плазмы крови и мембран эритроцитов операторов Центра управления движением судов

¹ФГБУН «Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичева» ДВО РАН, 690041, Владивосток, Россия;

²Научно-исследовательский институт экологии человека и гигиены окружающей среды имени А.Н. Сысина
ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»
Федерального медико-биологического агентства, 119191, Москва, Россия;

³ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Школа медицины, 690950, Владивосток, Россия;

⁴ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения
Российской Федерации, 214019, Смоленск, Россия

Введение. Проведено исследование количественного состава жирных кислот плазмы крови и мембран эритроцитов операторов Центра управления движением судов в порту Владивосток (ЦУДС), находящихся в течение рабочего времени под воздействием электромагнитных полей (ЭМП), создаваемых приборами радиолокации и навигации, средствами связи, высокими сенсорными нагрузками (восприятие сигналов на экране компьютера и их оценка).

Материалы и методы. Проведено обследование двух групп мужчин-добровольцев в возрасте 35–45 лет. В 1-ю (контрольную) группу включены 10 здоровых доноров сопоставимого возраста; во 2-ю группу – 10 операторов, работающих в ЦУДС, которые дали информированное добровольное согласие на участие в исследовании при прохождении планового медицинского осмотра.

Результаты. Показано, что влияние ЭМП на организм операторов сопровождается выраженными изменениями адаптационных реакций, характерными для воздействия острого стресса. Это проявлялось в снижении содержания лимфоцитов и эозинофилов по сравнению с контрольными значениями при одновременном увеличении индекса интоксикации. На основании изучения количественных характеристик жирных кислот в плазме крови и мембранах эритроцитов отмечалось увеличение содержания насыщенных жирных кислот (миристиновой, пальмитиновой, стеариновой) и снижение уровня полиненасыщенных жирных кислот (арахидоновой, эйкозапентаеновой и докозагексаеновой). Отмечено изменение молекулярных видов фосфолипидов, которое проявлялось в снижении содержания полиненасыщенных жирных кислот семейства n-6 и семейства n-3 в составе фосфатидилхолина и фосфатидилэтаноламина. Появляются пальмитоил- и стеарилоилсодержащие фосфолипиды и снижаются арахидоноил-, эйкозапентаноил- и докозагексаноилсодержащие компоненты биомембран. В состав фосфолипидов включаются насыщенные жирные кислоты (миристиновая, пальмитиновая и стеариновая) и жирные кислоты семейства n-9 (моноеновые жирные кислоты). Расчёт соотношения величин жирных кислот 20 : 4 n-6 / 18 : 2 n-6 показал достоверное его снижение в общих липидах плазмы крови и мембран эритроцитов, которое характеризует Δ6 и Δ5 десатуразы и элонгазу, что приводит к дефициту арахидоновой и эйкозапентаеновой жирных кислот.

Ограничения исследования. Метаболические реакции организма (предмет), 20 обследованных (количественный параметр), лоцманы-операторы (качественный показатель), стандарты Хельсинкской декларации 1964 г., девятого пересмотра, 2013 г., 64th WMA General Assembly, Fortaleza, Brazil, October 2013 (морально-культурные).

Заключение. Воздействие ЭМП на организм операторов ЦУДС порта Владивосток сопровождается формированием стрессовой реакции. На основании изучения количественных характеристик жирных кислот в плазме крови и мембранах эритроцитов отмечено нарушение метаболических реакций в обмене жирных кислот, что приводит к появлению новых молекулярных видов фосфолипидов.

Ключевые слова: электромагнитное поле; плазма крови; мембраны эритроцитов; насыщенные жирные кислоты; ненасыщенные жирные кислоты; фосфатидилхолин; фосфатидилэтаноламин

Соблюдение этических стандартов. 1. Все процедуры, выполненные в исследовании с участием людей, соответствуют этическим стандартам институционального и/или национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 г. и её последующим изменениям или сопоставимым нормам этики. Дизайн исследования был одобрен Комиссией по биомедицинской этике Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН (протокол № 16 от 18 февраля 2021 г.). 2. Каждый участник исследования дал информированное добровольное согласие на участие в исследовании при прохождении планового медицинского осмотра и публикацию персональной медицинской информации в обезличенной форме в журнале «Гигиена и санитария».

Для цитирования: Кушнерова Н.Ф., Рахманин Ю.А., Момот Т.В., Михайлова Р.И., Рыжова И.Н., Фоменко С.Е., Спрыгин В.Г., Другова Е.С., Мерзляков В.Ю., Лесникова Л.Н., Корякина Ю.П. Жирнокислотный состав плазмы крови и мембран эритроцитов операторов Центра управления движением судов. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(4): 382–388. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-4-382-388>

Для корреспонденции: Кушнерова Наталья Фёдоровна, доктор биол. наук, профессор, зав. лаб. биохимии Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН, 690041, Владивосток. E-mail: natasha50@mail.ru

Участие авторов: Кушнерова Н.Ф. – концепция и дизайн исследования, написание текста; Рахманин Ю.А. – редактирование; Момот Т.В. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста; Михайлова Р.И., Рыжова И.Н. – сбор данных литературы; Фоменко С.Е., Спрыгин В.Г., Другова Е.С., Лесникова Л.Н., Корякина Ю.П. – сбор и обработка материала; Мерзляков В.Ю. – сбор и обработка материала, статистическая обработка. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларировали отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование выполнено за счёт бюджетных средств по программе: регистрационный номер АААА-А17-117030110038-5.

Поступила: 27.12.2021 / Принята к печати: 12.04.2022 / Опубликована: 30.04.2022

Natalya F. Kushnerova¹, Yury A. Rakhmanin², Tatiana V. Momot³, Rufina I. Mikhailova²,
Irina N. Ryzhova², Svetlana E. Fomenko¹, Vladimir G. Sprygin¹, Elena S. Drugova¹,
Valeriu Yu. Merzliakov¹, Larisa N. Lesnikova¹, Yuliya P. Koryakina⁴

Fatty acids composition in blood plasma and erythrocyte membranes in operators of the Vessel Traffic Control Center

¹V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEBRAS, Vladivostok, 690041, Russian Federation;

²A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Health of the Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Medical Biological Agency, Moscow, 119121, Russian Federation;

³Far Eastern Federal University, School of medicine, Vladivostok, 690950, Russian Federation;

⁴Smolensk State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Smolensk, 214019, Russian Federation

Introduction. The quantitative composition of fatty acids in blood plasma and erythrocyte membranes was studied in operators at the Vladivostok Vessel Traffic Control Center (VTCC), who during working hours are subject to the influence of electromagnetic fields (EMF) (radars and navigation devices, communication equipment), high sensory loads (perception of signals on the computer screen and their assessment).

Materials and methods. A survey of 2 groups of male volunteers at the age of 35–45 years was carried out. Group 1 (control) included ten healthy donors of comparable age; Group 2 included 10 operators working at the Vessel Traffic Center, who gave informed consent to participate when undergoing a routine medical examination.

Results. The effect of EMF on the body of operators was shown to be accompanied by a pronounced pattern of changes in adaptive reactions typical for exposure to acute stress. This was manifested in a decrease in the lymphocytes and eosinophils content when compared to the control values with a simultaneous increase in the intoxication index. Based on the study of the quantitative characteristics of fatty acids in blood plasma and erythrocyte membranes it was noted an increase in saturated fatty acids (myristic, palmitic, stearic) and a decrease in polyunsaturated fatty acids (arachidonic, eicosapentaenoic and docosahexaenoic). The change in the molecular types of phospholipids was noted to decrease in the content of polyunsaturated fatty acids of the n-6 and n-3 families as a part of phosphatidylcholine and phosphatidylethanolamine. Palmitoyl- and stearoyl-containing phospholipids are formed and arachidonoyl-, eicosapentanoyl- and docosahexanoyl-containing components of biomembranes decline. The composition of phospholipids includes saturated fatty acids (myristic, palmitic and stearic) and fatty acids of the n-9 family (monoenoic fatty acids). Calculation of the ratio of fatty acids 20:4 n-6/18:2 n-6 showed its significant decrease in total lipids of blood plasma and erythrocyte membranes, which characterizes $\Delta 6$ and $\Delta 5$ desaturase and elongase, which leads to a lack of arachidonic and eicosapentaenoic fatty acids.

Limitations. Metabolic reactions (subject), 20 examined (quantitative parameter), pilot operators (qualitative indicator), standards of the Helsinki Declaration of 1964 (moral and cultural).

Conclusion. The impact of EMF on the body of operators of the VTCC in Vladivostok is accompanied by the formation of a stress reaction. Based on the research of the quantitative characteristics of fatty acids in blood plasma and erythrocyte membranes it was noted a violation of metabolic reactions in the exchange of fatty acids. This led to the appearance of new molecular types of phospholipids due to disturbances in the metabolic transformations of fatty acids.

Keywords: electromagnetic fields; blood plasma; erythrocyte membranes; saturated fatty acids; unsaturated fatty acids; phosphatidylcholine; phosphatidylethanolamine

Compliance with ethical standards. 1. All procedures performed in a study involving people comply with the ethical standards of the institutional and/or national committee for research ethics and the 1964 Helsinki Declaration and its subsequent changes or comparable standards of ethics. The study design was approved by the Commission on Ethics of the V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEBRAS (Protocol No. 16 of February 18, 2021). 2. Each participant of the study gave the informed voluntary consent.

For citation: Kushnerova N.F., Rakhmanin Yu.A., Momot T.V., Mikhailova R.I., Ryzhova I.N., Fomenko S.E., Sprygin V.G., Drugova E.S., Merzliakov V.Yu., Lesnikova L.N., Koryakina Yu.P. Fatty acids composition in blood plasma and erythrocyte membranes in operators of the Vessel Traffic Control Center. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(4): 382–388. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-4-382-388> (In Russian)

For correspondence: Natalia F. Kushnerova, MD, PhD, DSci., professor, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEBRAS, Vladivostok, 690041, Russian Federation. E-mail: natasha50@mail.ru

Information about authors:

Kushnerova N.F., <https://orcid.org/0000-0002-6476-0039>

Momot T.V., <https://orcid.org/0000-0003-3873-0343>

Ryzhova I.N., <https://orcid.org/0000-0003-0696-5359>

Sprygin V.G., <https://orcid.org/0000-0001-7400-909X>

Merzliakov V.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-9536-3247>

Koryakina Yu.P., <https://orcid.org/0000-0003-4341-4417>

Rakhmanin Yu.A., <https://orcid.org/0000-0003-2067-8014>

Mikhailova R.I., <https://orcid.org/0000-0001-7194-9131>

Fomenko S.E., <https://orcid.org/0000-0002-0261-0190>

Drugova E.S., <https://orcid.org/0000-0002-7472-5958>

Lesnikova L.N., <https://orcid.org/0000-0003-4187-230X>

Contributions of the authors: Kushnerova N.F. – the concept and design of the study, writing a text; Rakhmanin Yu.A. – editing; Momot T.V. – the concept and design of the study, collection and processing of material, writing a text; Mikhailova R.I., Ryzhova I.N. – collection of literature data; Fomenko S.E., Sprygin V.G., Drugova E.S., Lesnikova L.N., Koryakina Yu.P. – collection material; Merzliakov V.Yu. – collection and processing of material, statistical processing. All co-authors – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

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

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Received: December 27, 2021 / Accepted: April 12, 2021 / Published: April 30, 2022

Введение

Здоровье работающего населения в целом зависит от условий труда. В связи с расширением области применения устройств и приборов, являющихся источниками электромагнитных излучений (радиолокационные станции, навигационное оборудование, средства связи и коммуникации, системы радиоэлектронной защиты), возросло влияние этого оборудования на организм человека. При этом, несмотря на наличие обширной правовой базы регулирования отношений в сфере охраны труда и здоровья работающих, на трети рабочих мест уровни воздействия производственных факторов превышают установленные нормативы и формируют профессиональные риски нарушения здоровья [1]. Работы с источниками сверхвысокой частоты осуществляются диспетчерами-операторами для определения местонахождения судов различного назначения (пассажирские, транспортные, промысловые, технические, научно-исследовательские), переговоров с командным составом, регулировки движения судов в портовых водах. Кроме этого, работа на персональных компьютерах (монитор и процессор) сопровождается близостью к источникам электромагнитных полей (ЭМП), а также напряжением зрения из-за светящегося экрана, перепада яркостей экрана, наличия мельканий, разной чёткости изображений [2]. Эта тема актуальна, так как известно, что электромагнитные поля являются повреждающими факторами клеток и органов животных и человека [3–5]. Установлено, что высокоинтенсивное прямое кратковременное воздействие электромагнитного излучения сверхвысокочастотного диапазона на закрытый веком глаз кролика может привести к поражению даже закрытого глаза [6, 7].

Основные функциональные биологические эффекты воздействия искусственно создаваемых ЭМП на организм человека могут выражаться в виде астенического (головная боль, раздражительность, повышенная утомляемость, периодические боли в сердце и суставах), астеновегетативного (гипертония, брадикардия) и гипоталамического (нейроциркулярная дистония, гипертония) синдромов, а также психической дезадаптации (нарушение приспособления к условиям существования) [8]. Снижаются функциональные резервы организма, уменьшается профессиональное здоровье [9]. Происходит количественно-функциональное изменение клеток крови: снижается количество эритроцитов и гемоглобина, абсолютное количество нейтрофилов и лимфоцитов, развивается тромбоцитопения, а также увеличивается количество моноцитов [10]. При исследовании гормонального статуса работающих было показано снижение уровней кортизола и тестостерона [11]. Актуализация проблемы риска развития злокачественных новообразований у работающих в связи с воздействием ЭМП промышленной частоты привела к расширению исследований их роли в развитии лейкозов [12]. Известно, что чувствительность органов и систем организма к ЭМП определяется как биофизическими параметрами (биоэлектрофизические свойства тканей, степень поглощения энергии, глубина проникновения), так и функциональным назначением органов, степенью их васкуляризации и другими свойствами [13].

Влияние ЭМП сопровождается образованием свободных радикалов (супероксиданионов) и активацией процесса окислительного разрушения липидов, что обуславливает формирование своеобразного «биохимического груза» в виде структурно-функциональных изменений биомембран [14]. Представляют несомненный интерес работы, касающиеся исследований липидной компоненты клеток крови, так как с изменением в составе липидов мембран связано множество патологических состояний. Оценка суммарных показателей, соотношений индивидуальных жирных кислот и групп жирных кислот позволит предположить наличие метаболических дефектов. В то же время последствия воздействия ЭМП на человека остаются недостаточно изученными, что обуславливает актуальность исследования их влияния на жирнокислотный

состав плазмы крови и мембран эритроцитов. Известно, что жирные кислоты входят в состав фосфолипидов, являющихся основными структурными компонентами мембран и взаимодействующих в первую очередь с повреждающими агентами. При этом нарушается их структурная организация, что сопровождается развитием тканевой гипоксии, а окисление входящей в состав фосфолипидов линолевой кислоты, относящейся к виду n-6, даёт начало ряду активных метаболитов, способствующих развитию провоспалительных процессов в организме [15]. На основании вышеизложенного возникла необходимость провести биохимическое исследование крови операторов Центра управления движением судов в порте Владивосток (ЦУДС), так как, согласно данным Ванюковой В.В. [16], ведущими вредными производственными факторами риска для здоровья операторов ЦУДС является воздействие электромагнитных полей (приборы радиолокации и навигации, средства связи), высокие сенсорные нагрузки (восприятие сигналов на экране компьютера и их оценка), большое количество производственных объектов наблюдения (до 13).

Цель работы – изучение влияния электромагнитных полей на состав жирных кислот в плазме крови и мембранах эритроцитов операторов ЦУДС для оптимизации режима их производственной деятельности и условий труда.

Материалы и методы

Проведено обследование двух групп мужчин-добровольцев в возрасте 35–45 лет. В первую группу (контрольную) включены десять здоровых доноров сопоставимого возраста; во вторую – десять операторов, работающих в ЦУДС, которые дали информированное согласие на участие в исследовании при прохождении планового медицинского осмотра.

Плазму крови и эритроциты выделяли общепринятым методом центрифугирования [17]. Физиологические параметры периферической крови людей (лейкоцитарная формула) исследовали на гематологическом анализаторе Abacus (США). Для получения мембранной массы эритроциты вносили в дистиллированную воду, где происходил их полный гемолиз. Липидные экстракты из плазмы крови и мембран эритроцитов готовили по методу Folch J. и соавт. [18]. Фракционное разделение фосфолипидов осуществляли методом двумерной микротонкослойной хроматографии на силикагеле с использованием систем растворителей, описанных [19]. Для проявления всех фосфолипидных фракций применяли молибдатный реактив [20]. Анализируемые фосфолипидные фракции (фосфатидилхолин и фосфатидилэтаноламин) элюировали с пластины в пробирку и экстрагировали по методу [18]. Определение жирнокислотного состава общих липидов плазмы крови, мембран эритроцитов и фосфолипидных фракций мембран эритроцитов проводили методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ). Метилловые эфиры жирных кислот (МЭЖК) получали переэтерификацией липидов по методу [21] и очищали с помощью ТСХ, используя систему гексан – диэтиловый эфир в соотношении 95 : 5 по объёму. МЭЖК анализировали на газовом хроматографе «ЛХМ-2000» (ОАО «Хроматограф», Россия) с пламенно-ионизационным детектором: капиллярная колонка HP-5-MS с 5%-м фенилметилсилоксаном (30 м • 0,25 мм, Agilent, США), газ-носитель – гелий, температура инжектора 180 °С. Идентификацию МЭЖК проводили путём сравнения времени удерживания и сравнения с известными стандартами [22]. Результаты выражали в процентах от суммы жирных кислот.

Количественные данные обрабатывали с использованием статистического пакета InStat 3,0 (GraphPad Software Inc, США, 2005) со встроенной процедурой проверки соответствия выборки закону нормального распределения. Для определения статистической значимости различий в зависимости от параметров распределения использовали параметрический *t*-критерий Стьюдента или непараметрический *U*-критерий Манна–Уитни.

Таблица 1 / Table 1

Показатели основных видов жирных кислот в общих липидах плазмы крови и мембран эритроцитов операторов при воздействии электромагнитных полей (в % от суммы всех жирных кислот), $M \pm m$

Indices of main fatty acids in total lipids of blood plasma and erythrocyte membranes in operators exposed to electromagnetic fields (% of the sum of fatty acids), $M \pm m$

Жирные кислоты Fatty acids			Плазма крови Blood plasma		Мембраны эритроцитов Erythrocyte membranes	
			группа / group			
			1-я – контроль 1 st Control	2-я – операторы 2 nd Operators	1-я – контроль 1 st Control	2-я – операторы 2 nd Operators
Миристиновая	(14 : 0)	Myristic	0.85 ± 0.02	1.00 ± 0.03 ***	0.61 ± 0.04	0.98 ± 0.03 ***
Пальмитиновая	(16 : 0)	Palmitic	21.61 ± 0.69	24.96 ± 0.86 **	22.02 ± 0.87	24.60 ± 0.78 *
Стеариновая	(18 : 0)	Stearic	15.78 ± 0.63	15.76 ± 0.68	18.21 ± 0.46	19.69 ± 0.45 *
Пальмитолеиновая	(16 : 1 n-9)	Palmitoleic	2.81 ± 0.22	3.00 ± 0.24	2.33 ± 0.11	3.05 ± 0.14 ***
Олеиновая	(18 : 1 n-9)	Oleic	22.11 ± 0.73	22.54 ± 0.62	16.14 ± 0.57	17.20 ± 0.46
Линолевая	(18 : 2 n-6)	Linoleic	21.17 ± 0.65	20.92 ± 0.73	13.12 ± 0.52	12.20 ± 0.57
Арахидоновая	(20 : 4 n-6)	Arachidonic	8.97 ± 0.54	6.47 ± 0.58 **	16.14 ± 0.44	13.02 ± 0.61 ***
Линоленовая	(18 : 3 n-3)	Linolenic	1.28 ± 0.10	1.18 ± 0.07	1.40 ± 0.05	1.09 ± 0.03 ***
Эйкозапентаеновая	(20 : 5 n-3)	Eicosapentaenoic	2.27 ± 0.06	1.64 ± 0.05 ***	1.90 ± 0.04	1.46 ± 0.03 ***
Докозагексаеновая	(22 : 6 n-3)	Docosahexaenoic	3.15 ± 0.08	2.53 ± 0.07 ***	8.13 ± 0.08	6.71 ± 0.053 ***
Арахидоновая (20 : 4 n-6) / Линолевая (18 : 2 n-6) Arachidonic (20 : 4 n-6) / Linoleic (18 : 2 n-6)			0.42 ± 0.001	0.31 ± 0.01 ***	1.23 ± 0.03	1.06 ± 0.02 ***

Примечание. Здесь и в табл. 2: различия статистически значимы при: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ по сравнению с контролем.

Note: Here and in table. 2: differences are statistically significant at: * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$; *** – $p < 0.001$ versus control.

Результаты

В ходе исследования установлено, что воздействие ЭМП на организм операторов вызывало выраженные изменения в картине белой крови, которые характеризовались развитием общих адаптационных реакций. Отмечалось снижение содержания лимфоцитов на 5% ($30,57 \pm 0,16$ против $32,17 \pm 0,14\%$ в контроле; $p < 0,001$) и эозинофилов на 11% ($2,06 \pm 0,05$ против $2,32 \pm 0,03\%$ в контроле; $p < 0,001$). При этом индекс интоксикации увеличился до $0,63 \pm 0,06$ (в контроле $0,54 \pm 0,02$; $p < 0,001$). Это свидетельствовало о влиянии ЭМП на лейкопоз, что характерно для воздействия острого стресса. Уменьшение числа лимфоцитов свидетельствовало о снижении защитных функций организма, так как характеризовало подавляющее влияние ЭМП на лимфоцитарный росток лейкопоза [23, 24].

Профиль жирных кислот в плазме крови характеризовался увеличением количества миристиновой кислоты на 18% ($p < 0,001$) и пальмитиновой кислоты на 16% ($p < 0,01$), что обусловило увеличение суммы насыщенных жирных кислот до 42% (38% в контроле) (табл. 1).

В составе полиненасыщенных жирных кислот семейства n-6 было выявлено снижение количества арахидоновой кислоты на 28% ($p < 0,01$). При исследовании величин полиненасыщенных жирных кислот семейства n-3 отмечалось достоверное снижение эйкозапентаеновой кислоты на 28% ($p < 0,001$) и докозагексаеновой кислоты на 20% ($p < 0,001$). Это обусловило снижение суммы ненасыщенных жирных кислот до 58% (62% в контроле) при одновременном увеличении индекса насыщенности до 0,72 (0,61 в контроле). В общих липидах плазмы крови при расчёте соотношения жирных кислот следует отметить достоверное снижение соотношения 20 : 4 n-6 / 18 : 2 n-6.

Влияние ЭМП на организм операторов сопровождалось изменением количественных характеристик жирных кислот в мембранах эритроцитов. Отмечалось увеличение уровня миристиновой кислоты на 61% ($p < 0,001$), пальмитиновой кислоты на 12% ($p < 0,05$) и стеариновой кислоты на 8% ($p < 0,05$) (см. табл. 1). Расчёт суммарного содержания насыщенных жирных кислот показал увеличение этого показателя до 45% (41% в контроле). Исследование значений полиненасыщенных жирных кислот семейства n-6 показало достоверное снижение количества арахидоновой кислоты на 19% ($p < 0,001$). В то же время в ряду полиненасыщенных жирных кислот семейства n-3 было выявлено значительное снижение количества линоленовой кислоты – на 22% ($p < 0,001$), эйкозапентаеновой кислоты – на 23% ($p < 0,001$) и докозагексаеновой кислоты – на 17% ($p < 0,001$). Расчёт суммы ненасыщенных жирных кислот показал её снижение до 55% (59% в контроле), в результате чего индекс насыщенности вырос до 0,82 (0,69 в контроле). Обращает на себя внимание значение соотношения жирных кислот в ряду семейства n-6 (20 : 4 n-6 / 18 : 2 n-6), которое показало достоверное его снижение в общих липидах мембран эритроцитов.

При воздействии ЭМП наблюдались изменения содержания жирных кислот в составе фосфатидилхолина как основного по количеству структурного компонента фосфолипидной фракции мембран эритроцитов, входящего в наружный монослой липидного бислоя мембран. В его составе отмечалось увеличение уровня миристиновой кислоты на 12% ($p < 0,01$) (табл. 2). В ряду мононенасыщенных жирных кислот был выявлен рост пальмитолеиновой кислоты на 14% ($p < 0,01$) и олеиновой кислоты на 7% ($p < 0,05$). При исследовании значений жирных кислот семейства n-6

Таблица 2 / Table 2

Показатели основных видов жирных кислот в фосфолипидных фракциях мембран эритроцитов операторов при воздействии электромагнитных полей (в % от суммы всех жирных кислот), $M \pm m$

Indices of main fatty acids of phospholipid fractions of erythrocyte membranes in operators exposed to electromagnetic fields (% of the sum of fatty acids), $M \pm m$

Жирные кислоты Fatty acids			Фосфатидилхолин Phosphatidylcholine		Фосфатидилэтанолламин Phosphatidylethanolamine	
			группа / group			
			1-я – контроль 1 st Control	2-я – операторы 2 nd Operators	1-я – контроль 1 st Control	2-я – операторы 2 nd Operators
Миристиновая	(14 : 0)	Myristic	1.13 ± 0.02	1.27 ± 0.04 **	1.30 ± 0.02	1.39 ± 0.02 **
Пальмитиновая	(16 : 0)	Palmitic	28.87 ± 0.42	30.03 ± 0.29 *	20.36 ± 0.38	21.88 ± 0.33 **
Стеариновая	(18 : 0)	Stearic	14.68 ± 0.34	13.82 ± 0.22 *	18.74 ± 0.53	19.00 ± 0.48
Пальмитолеиновая	(16 : 1 n-9)	Palmitoleic	2.00 ± 0.05	2.27 ± 0.06**	4.02 ± 0.07	4.38 ± 0.10 **
Олеиновая	(18 : 1 n-9)	Oleic	18.68 ± 0.43	20.07 ± 0.38 *	19.22 ± 0.22	20.00 ± 0.31*
Линолевая	(18 : 2 n-6)	Linoleic	17.94 ± 0.47	18.00 ± 0.44	7.25 ± 0.17	7.49 ± 0.13
Арахидоновая	(20 : 4 n-6)	Arachidonic	11.70 ± 0.39	10.04 ± 0.41**	22.17 ± 0.46	20.05 ± 0.34 **
Линоленовая	(18 : 3 n-3)	Linolenic	1.30 ± 0.03	1.18 ± 0.04 *	1.65 ± 0.04	1.34 ± 0.02 ***
Эйкозапентаеновая	(20 : 5 n-3)	Eicosapentaenoic	1.20 ± 0.03	1.11 ± 0.02 *	1.77 ± 0.03	1.33 ± 0.02 ***
Докозагексаеновая	(22 : 6 n-3)	Docosahexaenoic	2.50 ± 0.04	2.21 ± 0.02 ***	3.52 ± 0.03	3.14 ± 0.02 ***
Арахидоновая (20 : 4 n-6) / Линолевая (18 : 2 n-6) Arachidonic (20 : 4 n-6) / Linoleic (18 : 2 n-6)			0.65 ± 0.01	0.58 ± 0.01 ***	3.05 ± 0.04	2.68 ± 0.02 ***

следует отметить снижение количества арахидоновой кислоты на 14% ($p < 0,01$). В ряду жирных кислот семейства n-3 следует отметить достоверное снижение количества линоленовой кислоты на 9% ($p < 0,05$), эйкозапентаеновой кислоты на 7% ($p < 0,05$) и докозагексаеновой кислоты на 12% ($p < 0,001$).

В настоящей работе был исследован жирнокислотный состав фосфатидилэтаноламина – фосфолипида, входящего во внутренний монослой липидного бислоя мембран эритроцитов (см. табл. 2).

В составе фосфатидилэтаноламина отмечалось увеличение количества миристиновой и пальмитиновой кислот в среднем на 7% ($p < 0,01$). Также следует отметить увеличение количества мононенасыщенных жирных кислот: пальмитолеиновой (на 14%; $p < 0,01$) и oleиновой (на 7%; $p < 0,05$).

При исследовании содержания жирных кислот семейства n-6 было выявлено снижение уровня арахидоновой кислоты на 14% ($p < 0,01$). В ряду жирных кислот семейства n-3 достоверно было снижено количество линоленовой кислоты – на 9% ($p < 0,05$), эйкозапентаеновой кислоты – на 7% ($p < 0,05$) и докозагексаеновой кислоты – на 12% ($p < 0,001$).

При расчёте соотношения жирных кислот 20 : 4 n-6 / 18 : 2 n-6 в фосфолипидных фракциях было выявлено их достоверное снижение. Это согласуется с аналогичной направленностью изменений в показателях соотношений жирных кислот – как в общих липидах мембран эритроцитов, так и в общих липидах плазмы крови.

Обсуждение

Оценка изменений в соотношении отдельных групп лейкоцитов показала, что влияние ЭМП на организм операторов сопровождалось снижением количества лимфоцитов и эозинофилов при одновременном увеличении

индекса интоксикации. Такие изменения, по Л.Х. Гаркави и соавт. [25], следует отнести к острому стрессу. Рост индекса интоксикации, по нашему мнению, был обусловлен присутствием в организме токсических веществ (свободные радикалы, супероксиданионы, недоокисленные продукты метаболизма).

Анализ данных, полученных при изучении содержания жирных кислот в общих липидах плазмы крови и мембран эритроцитов, свидетельствует о нарушении их соотношений под воздействием ЭМП. В результате снижения количества полиненасыщенных жирных кислот и повышения содержания насыщенных жирных кислот (миристиновой, пальмитиновой и стеариновой) увеличивался индекс насыщенности. Кроме того, показано увеличение уровня мононенасыщенных жирных кислот (пальмитолеиновой и oleиновой). Такие изменения также являются атрибутами стресса [26]. Следует отметить, что однонаправленность изменений в величинах жирных кислот в плазме крови и мембранах эритроцитов свидетельствует о том, что нарушения в жирнокислотном спектре плазмы крови отражаются на липидной составляющей мембран эритроцитов. Подтверждением этого является наличие корреляционной связи между величинами жирных кислот в общих липидах плазмы крови с таковыми величинами в общих липидах мембран эритроцитов. Расчёты показали достоверную прямую сильную связь ($r = 0,87$), что подтверждает факт такой зависимости.

При дефиците полиненасыщенных жирных кислот многие параметры функционирования клеток меняются. Известно, что нормальное функционирование любых мембран зависит от насыщенности их фосфолипидных фракций. По сути, с момента возникновения дефицита полиненасыщенных жирных кислот все клетки в организме начинают перестраивать свою функцию и медленно в

течение многих лет переходят на иной уровень функционирования. Учитывая этот факт, мы провели исследование жирнокислотного состава основных структурных компонентов мембран: фосфатидилхолина, входящего в наружный монослой липидного бислоя, и фосфатидилэтаноламина, входящего во внутренний монослой липидного бислоя. Исследование показало, что ЭМП влияют на молекулярные виды фосфолипидов. В их структуре происходит снижение содержания полиненасыщенных жирных кислот как семейства n-6, так и семейства n-3. Известно, что недостаток жирных кислот семейства n-6 обычно компенсируется их замещением на жирные кислоты семейства n-3. При этом срабатывает адаптивно-компенсаторный механизм, который способствует поддержанию ненасыщенности мембранных фосфолипидов [27]. Как показали результаты наших исследований, при воздействии ЭМП этот механизм не срабатывает. Отмечалось как существенное снижение содержания жирных кислот семейства n-6, так и семейства n-3 в составе фосфатидилхолина и фосфатидилэтаноламина.

Появляются фосфолипиды, в состав которых преимущественно входят насыщенные жирные кислоты (миристиновая, пальмитиновая и стеариновая), при одновременном снижении арахидоновой, эйкозапентановой и докозагексаеновой жирных кислот. Также в состав фосфолипидов включаются жирные кислоты семейства n-9 (моноеновые жирные кислоты), уровень которых возрастает. Биохимический механизм увеличения насыщенных жирных кислот, по нашему мнению, обусловлен стрессом. Известно, что при стрессе происходит активация липолиза в жировой ткани, в результате чего формируется избыток ацетил-КоА, который участвует в синтезе насыщенных жирных кислот [28]. При этом синтез полиненасыщенных жирных кислот снижен в результате ингибирования процессов элонгации и десатурации [29]. Это подтвердили расчёты показателей, которые характеризуют активность этих ферментов. Таковыми являются значения соотношений величин жирных кислот 20 : 4 n-6 / 18:2 n-6,

характеризующих Δ6- и Δ5-десатуразы и элонгазу [30]. По-видимому, расчёт значения данного показателя может служить объяснением одного из патогенетических звеньев в становлении стрессовых заболеваний [31].

Из вышеизложенного следует, что изменение молекулярных видов фосфолипидов в мембранах эритроцитов свидетельствует о наличии деструктивных процессов в мембране под действием ЭМП. Появление в липидной составляющей мембран эритроцитов новых молекулярных видов фосфатидилхолина и фосфатидилэтаноламина может лежать в основе изменения структурных и функциональных свойств эритроцитов. Это влияет на физико-химические свойства мембраны, её проницаемость, лабильность, жидкость, на количество рецепторных мест, активность мембраносвязанных ферментов, а также на сложность прохождения по микроциркулярному руслу.

Ограничения исследования включают исследование метаболических реакций организма двадцати обследованных операторов ЦУДС с учётом положений Хельсинкской декларации 1964 г.

Заключение

По результатам проведённого исследования можно сделать вывод, что воздействие ЭМП на организм операторов Центра управления движением судов в порте Владивосток сопровождается формированием стрессовой реакции. Изучение количественных характеристик жирных кислот в плазме крови и мембранах эритроцитов выявило нарушение метаболических реакций в обмене жирных кислот, что привело к появлению новых молекулярных видов фосфолипидов. Такие изменения определяют необходимость проведения профилактических мероприятий, направленных, с одной стороны, на оптимизацию режима и условий работы операторов ЦУДС, с другой – на применение биологически активных добавок, способствующих нормализации метаболизма жирных кислот и снижению стрессорного эффекта ЭМП.

Литература

(п.п. 15, 18–23, 28 см. References)

- Алексеев В.Б., Зайцева Н.В., Шур П.З. Перспективы управления профессиональными рисками в условиях реформ нормативно-правовой базы. *Медицина труда и промышленная экология*. 2018; (10): 39–44. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2018-10-39-44>
- Ященко С.Г., Шибанов С.Э., Рыбалко С.Ю., Григорьев О.А. Комплексный подход к исследованию влияния электромагнитных полей современных коммуникационных устройств на организм человека. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(7): 618–22. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-7-618-622>
- Афанасьев А.С., Зибарев Е.В., Каляда Т.В. Влияние широкополосных электромагнитных импульсов на когнитивные реакции белых мышей. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(7): 664–6. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-7-664-66>
- Лукьянова С.Н., Карпикова Н.И., Григорьев Ю.Г., Веселовский И.А. Изучение реакций мозга человека на электромагнитные поля нетепловой интенсивности. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(9): 848–54. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-9-848-854>
- Попова О.А., Попов В.И., Механтьева Л.Е., Соколова Н.В. Индивидуальная вариабельность адаптации структурных элементов слизистой оболочки тощей кишки при хроническом воздействии импульсов электромагнитных полей. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(8): 703–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-8-703-709>
- Аминов А.М., Гавриш Н.Н. Повреждения роговицы глаза при воздействии высокоинтенсивного электромагнитного излучения радиочастотного диапазона. *Медицина труда и промышленная экология*. 2020; 60(9): 624–6. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-9-624-626>
- Суетов А.А., Алекперов С.И. Острое поражение органа зрения электромагнитным излучением сверхвысокочастотного диапазона (экспериментальное исследование). *Вестник офтальмологии*. 2019; 135(4): 41–9. <https://doi.org/10.17116/oftalma201913504141>
- Рахманин Ю.А., Онищенко Г.Г., Григорьев Ю.Г. Современные проблемы и пути обеспечения электромагнитной безопасности сотовой связи для здоровья населения. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(11): 1175–83. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019>
- Горячкина Т.Г., Евдокимов В.И., Шалимов П.М. К оценке функционального состояния человека-оператора. *Медицина труда и промышленная экология*. 2006; (8): 35–8.
- Пальцев Ю.П., Рубцова Н.Б., Походзей Л.В., Тихонова Г.И. Гигиеническая регламентация электромагнитных полей как мера обеспечения сохранения здоровья работающих. *Медицина труда и промышленная экология*. 2003; (5): 13–7.
- Каляда Т.В., Вишневский А.М., Городецкий Б.Н., Плеханов В.П., Кузнецов А.В. Медико-биологические исследования электромагнитных полей диапазона радиочастот. Итоги и перспективы. *Медицина труда и промышленная экология*. 2014; (9): 5–11.
- Тихонова Г.И., Рубцова Н.Б. Опыт проведения эпидемиологических исследований онкоопасности электромагнитных полей в Российской Федерации. *Медицина труда и промышленная экология*. 2020; 60(9): 587–91. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-9-587-591>
- Григорьев О.А., Гошин М.Е., Прокофьева А.В., Алексеева В.А. Особенности национальной политики, определяющей подходы к гигиеническому нормированию электромагнитного поля радиочастот в различных странах. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(11): 1184–90. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1184-1190>
- Кушнерова Н.Ф., Рахманин Ю.А., Фоменко С.Е., Чижова Т.Л., Шепарев А.А. Влияние производственных условий на метаболические реакции организма лодманов-операторов. *Гигиена и санитария*. 2006; 85(6): 34–6.
- Ванюкова В.В. *Гигиеническая оценка условий труда и состояние здоровья операторов системы управления движением судов*. Владивосток; 2005.
- Новгородцева Т.П., Эндакова Э.А., Янькова В.И. *Руководство по методам исследования параметров системы «Перекисное окисление липидов – антиоксидантная защита» в биологических жидкостях*. Владивосток; 2003.
- Коплик Е.В., Перцов С.С., Калиниченко Л.С. Воздействие интерлейкина-1β на лейкоцитарные показатели периферической крови при острой стрессорной нагрузке у крыс с разными поведенческими характеристиками. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2013; 156(10): 419–25.

25. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. *Адаптационные реакции и резистентность организма*. Ростов-на-Дону; 1990.
26. Фоменко С.Е., Кушнерова Н.Ф., Спрыгин В.Г., Момот Т.В. Нарушение обменных процессов в печени крыс под действием стресса. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2013; (2): 67–70.
27. Покровский А.А. Влияние липидов пищи на структуру и функции биологических мембран. В кн.: Северин С.Е., ред. *Липиды. Структура, биосинтез, превращения и функции*. М.: Наука; 1977: 118–30.
29. Момот Т.В., Кушнерова Н.Ф., Рахманин Ю.А. Модификация жирнокислотного состава мембран эритроцитов при интоксикации ацетоном. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(8): 782–5. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-8-782-785>
30. Эндакова Э.А. Новгородцева Т.П., Светашев В.И. *Модификация состава жирных кислот крови при сердечно-сосудистых заболеваниях*. Владивосток: Дальнаука; 2002.
31. Титов В.Н. Внутриклеточный дефицит полиеновых жирных кислот в патогенезе атеросклероза. *Кардиология*. 1998; (1): 43–9.

References

1. Alekseev V.B., Zaytseva N.V., Shur P.Z. The prospects of occupational risk management during reforms of regulatory legislation basis. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2018; (10): 39–44. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2018-10-39-44> (in Russian)
2. Yashchenko S.G., Shibanov S.E., Rybalko S.Yu., Grigor'ev O.A. Integrated approach to research of influence of electromagnetic fields of contemporary communication devices on the human body. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(7): 618–22. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-7-618-622> (in Russian)
3. Afanasev A.S., Zibarev E.V., Kalyada T.V. The impact of broadband electromagnetic pulses on the cognitive reactions of white mice. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(7): 664–6. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-7-664-66> (in Russian)
4. Lukyanova S.N., Karpikova N.I., Grigor'ev Yu.G., Veselovskiy I.A. The study of responses of the human brain to electromagnetic field of non-thermal intensity. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(9): 848–54. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-9-848-854> (in Russian)
5. Popova O.A., Popov V.I., Mekhant'eva L.E., Sokolova N.V. Individual variability of adaptation of structural elements of the jejunal mucosal membrane under the chronic exposure of pulses of electromagnetic fields. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(8): 703–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-8-703-709> (in Russian)
6. Aminov A.M., Gavrish N.N. Damage to the cornea of the eye when exposed to high-intensity electromagnetic radiation of the radio frequency range. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2020; 60(9): 624–6. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-9-624-626> (in Russian)
7. Suetov A.A., Alekperov S.I. Acute ocular lesions after exposure to electromagnetic radiation of ultrahigh frequency (an experimental study). *Vestnik oftalmologii*. 2019; 135(4): 41–9. <https://doi.org/10.17116/oftalma201913504141> (in Russian)
8. Rakhmanin Yu.A., Onishchenko G.G., Grigor'ev Yu.G. Contemporary issues and the ways of ensuring electromagnetic safety of mobile communication to the health of the population. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(11): 1175–83. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019> (in Russian)
9. Goryachkina T.G., Evdokimov V.I., Shalimov P.M. On evaluating functional state of human operator. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2006; (8): 35–8. (in Russian)
10. Paltsev Yu.P., Rubtsova N.B., Pokhodzey L.V., Tikhonova G.I. Hygienic regulation of electromagnetic fields for preservation of workers health. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2003; (5): 13–7. (in Russian)
11. Kalyada T.V., Vishchnevskiy A.M., Gorodetskiy B.N., Plekhanov V.P., Kuznetsov A.V. Medical and biologic research of electromagnetic fields in radiofrequencies range. Results and prospects. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2014; (9): 5–11. (in Russian)
12. Tikhonova G.I., Rubtsova N.B. Electromagnetic field cancer risk epidemiological studies experience in the Russian Federation. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2020; 60(9): 587–91. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-9-587-591> (in Russian)
13. Grigorev O.A., Goshin M.E., Prokof'eva A.V., Alekseeva V.A. Features of national policy in approaches to electromagnetic field safety of radio frequencies radiation in different countries. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(11): 1184–90. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1184-1190> (in Russian)
14. Kushnerova N.F., Rakhmanin Yu.A., Fomenko S.E., Chizhova T.L., Sheparev A.A. Impact of the working environment on metabolic reactions in operating pilots. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2006; 85(6): 34–6. (in Russian)
15. González-Pérez A., Planagumà A., Gronert K., Miquel R., López-Parra M., Titos E., et al. Docosahexaenoic acid (DHA) blunts liver injury by conversion to protective lipid mediators: protectin D1 and 17S-hydroxy-DHA. *Faseb. J.* 2006; 20(14): 2537–9. <https://doi.org/10.1096/fj.06-6250fje>
16. Vanyukova V.V. *Hygienic Assessment of Working Conditions and Health of Operators of the Vessel Traffic Control System [Gigienicheskaya otsenka usloviy truda i sostoyaniya zdorov'ya operatorov sistemy upravleniya dvizheniem sudov]*. Vladivostok; 2005. (in Russian)
17. Novgorodtseva T.P., Endakova E.A., Yan'kova V.I. «Lipid Peroxidation – Antioxidant Protection» System Parameters Research Guidelines in Biological Fluids [Rukovodstvo po metodam issledovaniya parametrov sistemy «Perekisnoe okislennie lipidov – antioksidantnaya zashchita» v biologicheskikh zhidkostyakh]. Vladivostok; 2003. (in Russian)
18. Folch J., Less M., Sloane-Stanley G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 1957; 226(1): 497–509.
19. Rouser G., Kritchevsky G., Yamamoto A. Column chromatographic and associated procedures. In: *Lipid Chromatographic Analysis. Volume 1*. New York: Marcel Dekker; 1967: 99–162.
20. Vaskovskiy V.E., Kostetskiy E.Y. Vasenden I.M. A universal reagent for phospholipid analysis. *J. Chromatography*. 1975; 114(1): 129–41. [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(00\)85249-8](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(00)85249-8)
21. Carreau J.P., Dubacq J.P. Adaptation of a macro-scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts. *J. Chromatogr. A*. 1978; 151(3): 384–90.
22. Christie W.W. Equivalent chain-lengths of methyl ester derivatives of fatty acids on gas chromatography. A reappraisal. *J. Chromatogr. A*. 1988; 447: 305–14.
23. Rostamkhani F., Zardooz H., Zahedias S. Comparison of the effects of acute and chronic psychological stress on metabolic features in rats. *J. Zhejiang Univ. Sci.* 2012; 13(11): 904–12. <https://doi.org/10.1631/jzus.b1100383>
24. Koplík E.V., Pertsov S.S., Kalinichenko L.S. Effects of interleukin-1β on peripheral blood leukocyte indices at acute stress load in rats with different behavioral characteristics. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny*. 2013; 156(10): 419–25. (in Russian)
25. Garkavi L.Kh., Kvakina E.B., Ukolova M.A. *Adaptation Responses and Body Resistance [Adaptatsionnye reaktsii i rezistentnost' organizma]*. Rostov-na-Donu; 1990. (in Russian)
26. Fomenko S.E., Kushnerova N.F., Sprygin V.G., Momot T.V. Impaired metabolic processes in the liver of rats under the influence of stress. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal*. 2013; (2): 67–70. (in Russian)
27. Pokrovskiy A.A. The effect of food lipids on the structure and functions of biological membranes. In: Severin S.E., ed. *Lipids. Structure, Biosynthesis, Transformations and Functions [Lipidy. Struktura, biosintez, prevrashcheniya i funktsii]*. Moscow: Nauka; 1977: 118–30. (in Russian)
28. Mozaffarian D. Free fatty acids, cardiovascular mortality, and cardiometabolic stress. *Eur. Heart J.* 2007; 28(22): 2699–700. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehm451>
29. Momot T.V., Kushnerova N.F., Rakhmanin Yu.A. Modification of the pattern of fatty acids of erythrocytes membranes due to the acetone intoxication. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(8): 782–5. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-8-782-785> (in Russian)
30. Endakova E.A., Novgorodtseva T.P., Svetashev V.I. *Modification of Blood Fatty Acids Composition in Case of Cardio-Vascular Diseases [Modifikatsiya sostava zhirnykh kislot krovi pri serdechno-sosudistykh zabolevaniyakh]*. Vladivostok: Dal'nauka; 2002. (in Russian)
31. Titov V.N. Intracellular deficiency of polyenic fatty acids in the pathogenesis of atherosclerosis. *Kardiologiya*. 1998; (1): 43–9. (in Russian)