



Журба О.М., Меринов А.В., Алексеенко А.Н., Кудаева И.В.

## Спектр этерифицированных жирных кислот омега-3 и омега-6 в крови у лиц с вибрационной патологией

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск, Россия

**Введение.** Вибрация является одним из ведущих неблагоприятных физических факторов производственной среды и приводит к развитию вибрационной болезни (ВБ). Исследование метаболических профилей маркеров обмена жирных кислот (ЖК) является одним из направлений в ранней диагностике сосудистых заболеваний и метаболического синдрома (МС), вызванных в том числе воздействием вибрации.

**Цель работы** — изучить спектр этерифицированных жирных кислот семейств омега-3 и омега-6 в крови у пациентов с ВБ и в сочетании с МС.

**Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 66 человек, разделенные на 2 группы: I группа — 34 пациента с установленным диагнозом ВБ; II группа — 32 пациента с установленным диагнозом ВБ в сочетании с МС. Уровни этерифицированных форм (ЭФ) полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) семейств  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 в пробах плазмы крови определяли с применением метода хромато-масс-спектрометрии на газовом хроматографе Agilent 7890A с масс-селективным детектором Agilent 5975C.

**Результаты.** Изучено распределение количественных показателей ПНЖК семейства  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 в обследованных группах. У пациентов с ВБ в сочетании с МС по сравнению с пациентами с ВБ отмечалось статистически значимое увеличение уровня эйкозапентаеновой,  $\alpha$ -линоленовой кислот семейства  $\omega$ -3, суммы  $\omega$ -3 ПНЖК,  $\gamma$ -линоленовой и линолевой кислот семейства  $\omega$ -6.

**Заключение.** Проведенное исследование количественных показателей ЭЖК семейств  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 в плазме крови пациентов с ВБ и в сочетании с МС показало, что уровни  $\omega$ -6 были статистически значимо (в 4,5–5,4 раза) выше, чем уровни  $\omega$ -3 жирных кислот.

**Ключевые слова:** жирные кислоты; хромато-масс-спектрометрия; вибрационная болезнь; метаболический синдром

Для цитирования: Журба О.М., Меринов А.В., Алексеенко А.Н., Кудаева И.В. Спектр этерифицированных жирных кислот омега-3 и омега-6 в крови у лиц с вибрационной патологией. *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (12): 1430-1435. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-12-1430-1435>

Для корреспонденции: Журба Ольга Михайловна, канд. биол. наук, зав. лаб. аналитической экотоксикологии и биомониторинга, ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск. E-mail: zhurba99@gmail.com

**Участие авторов:** Журба О.М. — концепция и дизайн исследования, проведение исследований, сбор данных литературы, написание текста, редактирование, ответственность за целостность всех частей статьи; Меринов А.В. — сбор данных литературы, обработка материала, статистический анализ, написание текста; Алексеенко А.Н. — сбор и обработка материала, проведение исследований; Кудаева И.В. — организация исследования, обоснование программы исследования, редактирование, ответственность за целостность всех частей статьи. **Все соавторы** — утверждение окончательного варианта статьи

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

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках средств, выделяемых для выполнения государственного задания ФГБНУ ВСИМЭИ.

Поступила: 07.09.2021 / Принята к печати: 25.11.2021 / Опубликована: 30.12.2021

Olga M. Zhurba, Alexey V. Merinov, Anton N. Alekseenko, Irina V. Kudaeva

## Spectrum of esterified fatty acids of the omega-3 and omega-6 in the blood of persons with vibration pathology

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation

**Introduction.** Vibration is one of the leading unfavourable physical factors of the working environment and leads to vibration disease (VD) development. The study of metabolic profiles of markers of fatty acids (FA) metabolism is one of the directions in the early diagnosis of vascular diseases and metabolic syndrome (MS), caused, among other things, by exposure to vibration.

**The aim of this work** is to study the spectrum of esterified fatty acids of the omega-3 and omega-6 families in the blood of patients with vibration disease (VD) and combination with metabolic syndrome (MS).

**Materials and methods.** The study involved 66 people, divided into two groups: Group I — 34 patients with an established diagnosis of VD; Group II — 32 patients with an established diagnosis of VD in combination with metabolic syndrome (MS). The levels of esterified forms (EF) of polyunsaturated fatty acids (PUFA) of the  $\omega$ -3 and  $\omega$ -6 families in blood plasma samples were determined using the method of gas chromatography-mass spectrometry on an Agilent 7890A gas chromatograph with an Agilent 5975C mass selective detector.

**Results.** The distribution of quantitative indices of PUFA of the  $\omega$ -3 and  $\omega$ -6 families in the examined groups was studied. In VD patients with MS, compared with VD patients, there was a statistically significant increase in the level of eicosapentaenoic,  $\alpha$ -linolenic acids of the  $\omega$ -3 family, the sum of  $\omega$ -3 PUFAs,  $\gamma$ -linolenic and linoleic acids of the  $\omega$ -6 family.

**Conclusion.** The study of the quantitative indices of EF of the families  $\omega$ -3 and  $\omega$ -6 in the blood plasma of VD patients with MS showed the levels of  $\omega$ -6 to be 4.5-5.4 times statistically higher than the levels of  $\omega$ -3 fatty acids.

**Keywords:** polyunsaturated fatty acids; chromatography-mass spectrometry; vibration disease; metabolic syndrome

**For citation:** Zhurba O.M., Merinov A.V., Alekseenko A.N., Kudaeva I.V. Spectrum of esterified fatty acids of the omega-3 and omega-6 in the blood of persons with vibration pathology. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(12): 1430-1435. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-12-1430-1435> (In Russ.)

**For correspondence:** Olga M. Zhurba, MD, PhD, senior researcher, Laboratory of analytical ecotoxicology and biomonitoring of the East-Siberian Institution of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation. E-mail: zhurba99@gmail.com

**Information about the authors:**

Zhurba O.M., <https://orcid.org/0000-0002-9961-6408> Merinov A.V., <https://orcid.org/0000-0001-7848-6432>  
Alekseenko A.N., <https://orcid.org/0000-0003-4980-5304> Kudaeva I.V., <https://orcid.org/0000-0002-5608-0818>

**Contribution:** Zhurba O.M. — the concept and design of the study, collection of literature data, writing a text, editing, research; Merinov A.V. — collection of literature data, material processing, statistical analysis, text writing; Alekseenko A.N. — collection and processing of the material, research; Kudaeva I.V. — organization of research, justification of the research program, editing. **All co-authors** — approval of the final version of the article.

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

**Acknowledgement.** Financing of the work was carried out at the expense of funds allocated for the state assignment of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.

Received: September 7, 2021 / Accepted: November, 2021 / Published: December 30, 2021

## Введение

Вибрация является одним из ведущих неблагоприятных физических факторов производственной среды и причиной развития вибрационной болезни (ВБ) [1, 2]. Доказано, что вибрация оказывает общебиологическое действие на любые клетки, ткани и органы [3]. Среди клинических проявлений ВБ нарушения периферического кровообращения и микрососудов являются наиболее специфичными [4, 5]. Нарушения кровообращения и сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) связывают с содержанием липидов в крови, а среди причин смертности трудоспособного населения лидируют заболевания сердечно-сосудистой системы [6–8].

Исследование метаболических профилей маркеров обмена жирных кислот (ЖК) является одним из ключевых направлений в ранней диагностике ССЗ и метаболического синдрома (МС) [9–11].

ЖК можно разделить на несколько групп в зависимости от их структуры, физиологической роли и биологических эффектов [12]. В зависимости от структуры ЖК подразделяются на насыщенные (НЖК) и ненасыщенные [мононенасыщенные (МНЖК) и полиненасыщенные (ПНЖК)]. Выделяют 2 класса ПНЖК –  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6. Различие между ними заключается в порядковом расположении первой двойной связи от метильного конца молекулы ЖК [13]. Исследованиями установлено, что несбалансированное соотношение  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 в пользу  $\omega$ -6 ПНЖК является высокопротромботическим и провоспалительным, что способствует распространённости атеросклероза, ожирения и диабета [13, 14].

В последнее время перед исследователями всё чаще встают вопросы, касающиеся изучения развития, лечения и профилактики ВБ в сочетании с МС [15, 16]. Научный интерес представляет комбинирование этих видов патологических состояний организма, поскольку сочетанные формы заболеваний подчас ухудшают их течение и прогноз, изменяя классические проявления.

Цель работы – изучение спектра этерифицированных жирных кислот семейств  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 в крови у пациентов с ВБ и в сочетании с МС.

## Материалы и методы

В настоящем исследовании приняли участие 66 человек (средний возраст  $49,2 \pm 0,8$  года), которые были разделены на 2 анализируемые группы: I группа – 34 пациента с установленным диагнозом ВБ (возраст  $49,1 \pm 1$  года); II группа – 32 пациента с установленным диагнозом ВБ в сочетании с метаболическим синдромом (возраст  $49,3 \pm 1,2$  года). Критерии исключения из исследования: наличие в анамнезе онкологических заболеваний, почечной, печёночной недостаточности, острых и хронических неинфекционных заболеваний в стадии обострения, ишемической болезни сердца, инсульта, инфаркта миокарда, возраст старше 65 лет. Исследования проводили в соответствии с принципами Хельсинкской декларации Всемирной ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» (с поправками 2008 г.), «Правилами клинической практики в Российской Федерации» (утв. Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 г. № 266), все исследования проведены с информированного согласия обследуемых граждан, одобренного в установленном порядке Комитетом по биоэтической этике ФГБНУ ВСИМЭИ.

Все обследуемые пациенты подписывали информированное согласие на проведение исследования с их биоматериалом и персональными данными. Проведённые исследования не ущемляли права, не подвергали опасности благополучие субъектов исследования и не причиняли вреда их здоровью. В качестве материала для анализа использовали цельную периферическую кровь. Забор крови у пациентов проводили из локтевой вены с использованием стерильных вакуумных пробирок Vacutainer с ЭДТА. Для получения плазмы отобранную кровь центрифугировали в

течение 15 мин при 3000 об./мин. Образцы плазмы крови аликвотировали в пластиковые пробирки типа Eppendorf для хранения и заморозки образцов биоматериала. Хранение осуществляли при температуре минус 20 °С.

В плазме крови определяли уровни этерифицированных жирных кислот (ЭЖК) семейств  $\omega$ -3 [ $\alpha$ -линоленовая кислота (АЛК, C18:3 $\omega$ -3), эйкозапентаеновая кислота (ЭПК, C20:5 $\omega$ -3), эйкозатриеновая кислота (ЭТЕ, C20:3 $\omega$ -3), докозагексаеновая кислота (ДГК, C22:6 $\omega$ -3)] и  $\omega$ -6 [линолевая кислота (ЛК, C18:2 $\omega$ -6),  $\gamma$ -линоленовая кислота (ГЛК, C18:3 $\omega$ -6), арахидоновая кислота (АК, C20:4 $\omega$ -6), дигомо- $\gamma$ -линоленовая кислота (ДГЛК, C20:3 $\omega$ -6), эйкозадиеновая кислота (ЭДЕ, C20:2 $\omega$ -6)] ПНЖК с использованием метода газовой хромато-масс-спектрометрии [17]. Применяемое оборудование: газовый хроматограф Agilent 7890А с масс-селективным детектором Agilent 5975С. Разделение метиловых эфиров ЖК осуществлялось на капиллярной колонке НТ-8 (SGE) (30 м; 0,25 мм; 0,25 мкм). Ввод пробы с делением потока. Режим термостата колонки с программированием температуры. Сбор данных в режиме мониторинга избранных ионов. Процедура пробоподготовки основана на «классической» перэтерификации ЭЖК раствором КОН в СН<sub>3</sub>ОН в метиловые эфиры с последующей жидкостно-жидкостной экстракцией гексаном, упаривании экстракта и перерастворении сухого остатка в дихлорметане.

Также были проведены расчёты соотношений различных ПНЖК.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.1 с использованием непараметрического *U*-критерия Манна–Уитни для независимых выборок. Различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ . Результаты проведённых исследований представлены в виде медианы (*Me*) и межквартильного размаха ( $Q_{25} - Q_{75}$ ).

## Результаты

В результате проведённых исследований было изучено распределение количественных показателей ПНЖК семейств  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 в обследованной когорте лиц (см. таблицу). Необходимо обратить внимание, что концентрация всех изучаемых ПНЖК была выше в группе пациентов ВБ + МС по сравнению с лицами с ВБ. Однако статистически значимые различия отмечались в отношении уровня  $\alpha$ -линоленовой кислот ( $p = 0,007$ ), эйкозапентаеновой ( $p = 0,03$ ) семейства  $\omega$ -3, суммы  $\omega$ -3 ПНЖК ( $p = 0,03$ ), линолевой ( $p = 0,03$ ) и  $\gamma$ -линоленовой кислот ( $p = 0,01$ ) семейства  $\omega$ -6. Общее содержание  $\omega$ -6 ПНЖК также было выше у лиц с сочетанной патологией по сравнению с пациентами с ВБ, но различия находились на границе статистической значимости ( $p = 0,054$ ).

На следующем этапе исследования был проведён анализ соотношений между разными представителями ПНЖК, который показал, что коэффициент  $\Sigma\omega$ -6/ $\Sigma\omega$ -3 статистически значимо не различается между сравниваемыми группами. В то же время установлены различия в отношении следующих коэффициентов: C20:4 $\omega$ -6/C20:5 $\omega$ -3 ( $p = 0,04$ ), C18:2 $\omega$ -6/C18:3 $\omega$ -3 ( $p = 0,01$ ), C18:3 $\omega$ -6/C20:3 $\omega$ -6 ( $p = 0,03$ ), C18:3 $\omega$ -6/C20:4 $\omega$ -6 ( $p = 0,01$ ).

Также было установлено, что сумма ЖК семейства  $\omega$ -6 была статистически значимо выше, чем сумма ЖК семейства  $\omega$ -3 в обеих группах (рис. 1).

## Обсуждение

Использование ЖК в качестве биомаркеров различных заболеваний осложняется множественностью причин изменения жирно-кислотного состава крови. Однако характерные изменения концентраций ряда ЖК в совокупности с другими биологическими молекулами, например, эйкозаноидами, потенциально могут являться биомаркерами и служить инструментом для ранней диагностики различных заболеваний [11, 18].

Содержание этерифицированных полиненасыщенных жирных кислот семейств  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 в плазме крови у лиц с вибрационной патологией,  $Me (Q_{25}-Q_{75})$ , мг/лThe content of esterified polyunsaturated fatty acids of the  $\omega$ -3 and  $\omega$ -6 families in blood plasma in persons with vibration pathology,  $Me (Q_{25}-Q_{75})$ , mg/l

Показатель Indices	Пациенты с ВБ Patients with vibration diseases (VD) <i>n</i> = 34	Пациенты с ВБ + МС VD patients with metabolic syndrome (MS) <i>n</i> = 32	<i>p</i>
<i><math>\omega</math>-3 – жирные кислоты / <math>\omega</math>-3 – Fatty acids</i>			
АЛК / Alpha-linoleic acid (C18:3 $\omega$ -3)	12.2 (8.4–19.9)	22.0 (12.8–28.2)	0.007
ЭПК / Eicosapentaenoic acid (C20:5 $\omega$ -3)	25.1 (17.0–48.9)	41.5 (27.3–47.6)	0.03
ДГК / Docosahexaenoic acid (C22:6 $\omega$ -3)	98.8 (79.0–127.7)	116.3 (88.8–133.8)	0.2
ЭТЕ / Eicosatrienoic acid ETE (C20:3 $\omega$ -3)	2.6 (0.2–3.1)	2.9 (2.6–3.5)	0.08
$\Sigma\omega$ -3 ЖК / $\Sigma\omega$ -3 Fatty acids	139.9 (105.6–191.2)	179.6 (143.7–199.0)	0.03
<i><math>\omega</math>-6 – жирные кислоты / <math>\omega</math>-6 – Fatty acids</i>			
ЛК / Linoleic acid (C18:2 $\omega$ -6)	452.2 (377.6–541.0)	523.9 (437.0–635.6)	0.03
ГЛК / $\gamma$ -Linoleic acid (C18:3 $\omega$ -6)	7.4 (6.1–11.3)	11.4 (7.0–15.3)	0.01
АК / Arachidonic acid (C20:4 $\omega$ -6)	183.4 (162.8–206.1)	187.2 (156.8–218.7)	0.4
ДГЛК / Dihomo- $\gamma$ -linolenic acid (C20:3 $\omega$ -6)	91.7 (73.6–112.2)	100.2 (84.6–117.9)	0.2
ЭДЕ / Eicosadienoic acid (C20:2 $\omega$ -6)	14.5 (11.4–18.2)	15.7 (11.9–21.1)	0.5
$\Sigma\omega$ -6 / ЖК FA	752.9 (627.7–890.0)	814.9 (711.7–993.8)	0.054
<i>Соотношения / Ratios</i>			
$\Sigma\omega$ -6/ $\Sigma\omega$ -3	5.48 (4.07–6.73)	4.59 (4.22–5.50)	0.3
C20:4 $\omega$ -6/C22:6 $\omega$ -3	1.80 (1.47–2.12)	1.68 (1.45–2.02)	0.3
C20:4 $\omega$ -6/C20:5 $\omega$ -3	7.65 (4.35–10.46)	5.26 (3.97–7.13)	0.04
C18:2 $\omega$ -6/C18:3 $\omega$ -3	35.17 (27.54–46.05)	25.96 (20.16–33.13)	0.01
C20:3 $\omega$ -6/C20:5 $\omega$ -3	3.77 (2.17–5.49)	2.66 (2.10–3.35)	0.1
C18:3 $\omega$ -6/C22:6 $\omega$ -3	0.085 (0.068–0.102)	0.103 (0.059–0.141)	0.2
C18:2 $\omega$ -6/ C20:4 $\omega$ -6	2.41 (2.19–2.87)	2.75 (2.41–3.00)	0.1
C18:2 $\omega$ -6/C18:3 $\omega$ -6	51.11 (42.56–75.77)	43.94 (33.42–66.39)	0.08
C20:4 $\omega$ -6/C20:3 $\omega$ -6	2.01 (1.71–2.33)	1.87 (1.60–2.26)	0.5
C18:3 $\omega$ -3/C22:6 $\omega$ -3	0.130 (0.100–0.192)	0.177 (0.119–0.236)	0.07
C20:5 $\omega$ -3/C22:6 $\omega$ -3	0.277 (0.196–0.375)	0.354 (0.248–0.418)	0.08
C18:3 $\omega$ -6/C20:3 $\omega$ -6	0.093 (0.074–0.117)	0.114 (0.086–0.153)	0.03
C20:3 $\omega$ -6/C20:4 $\omega$ -6	0.500 (0.429–0.585)	0.535 (0.445–0.626)	0.5
C18:3 $\omega$ -6/C20:4 $\omega$ -6	0.045 (0.034–0.059)	0.059 (0.040–0.077)	0.01
C20:4 $\omega$ -6/(C20:5 $\omega$ -3 + C22:6 $\omega$ -3)	1,44 (1.14–1.75)	1.23 (1.12–1.49)	0.1

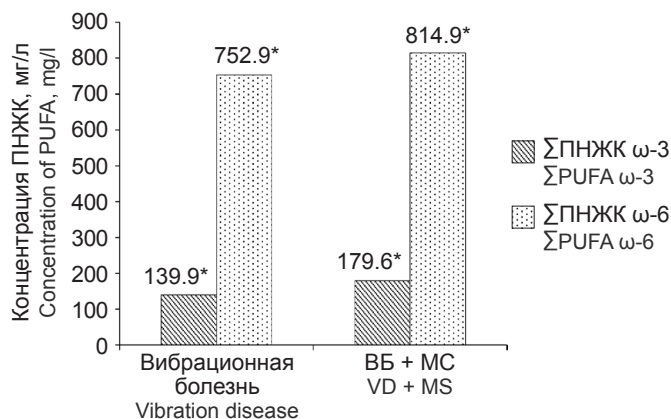


Рис. 1. Соотношение суммы концентраций представителей ПНЖК семейства  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6.

\* – различия статистически значимы при  $p < 0,05$ .

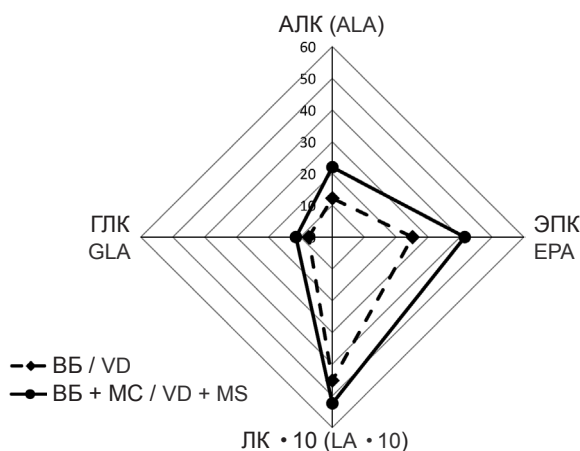
Fig. 1. The ratio of the sum of concentrations of representatives of PUFAs of the family  $\omega$ -3 and  $\omega$ -6.

\* – differences are statistically significant at  $p < 0.05$ .

Между ПНЖК семейства  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 в организме существуют сложные конкурентные взаимоотношения. При интенсификации обмена ПНЖК одного семейства угнетает метаболизм ПНЖК другого. Это связано с наиболее высоким сродством к ферментам десатурации и элонгации ПНЖК семейства  $\omega$ -3 [19].

Необходимо отметить, что 18-атомные кислоты семейств  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 (линолевая и альфа-линоленовая) являются незаменимыми, то есть поступают в организм человека только с пищей. Согласно современным данным, 50–70% данных кислот, поступивших с пищей, используются для обеспечения энергетических потребностей организма [20]. Но главная их роль в организме человека состоит в том, что они являются предшественниками физиологически значимых длинноцепочечных ПНЖК с 20–22 атомами углерода – арахидоновой, эйкозопентаеновой и докозагексаеновой [21]. Следует отметить, что эффективность синтеза этих длинноцепочечных ПНЖК у человека незначительна, хотя именно эти кислоты играют важнейшую роль в функционировании организма. Большая их часть также поступает в организм с источниками питания.

Альфа-линоленовая кислота относится к эссенциальным ЖК. Наибольшее её содержание отмечено в капусте и льня-



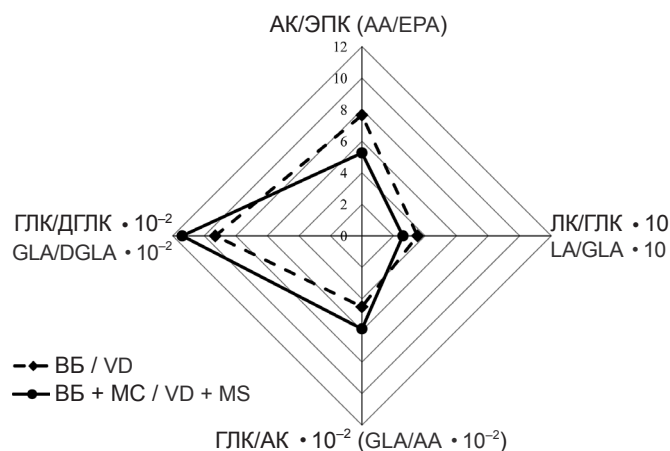
**Рис. 2.** Профили этерифицированных ненасыщенных жирных кислот, концентрация которых имеет статистически значимые различия между группами лиц с вибрационной болезнью и в сочетании с метаболическим синдромом.

**Fig. 2.** Profiles of esterified unsaturated fatty acids, the concentration of which has statistically significant differences between groups of individuals with vibration disease and in combination with metabolic syndrome.

ном масле (60,6 и 57% соответственно) [22, 23]. В организме человека она превращается в ЭПК и ДГК. В то же время существенную роль в регуляции кровотока, тромбообразования и иммунных реакций, а ДГК служит важным функциональным компонентом мембран клеток ряда нервных тканей [25, 26].

Основной источник синтезируемых в организме  $\omega$ -6 ПНЖК — линолевая кислота — также поступает только с продуктами питания. Больше всего её содержится в подсолнечном и соевом масле (62 и 51% соответственно), грецких орехах (58%), а также в пшенице (51,9%) [23, 27, 28]. В организме человека она подвергается пролонгации и десатурации, в результате чего через  $\gamma$ -линоленовую и дигомо- $\gamma$ -линоленовую образуется арахидоновая кислота (АК), которая является предшественником биологически активных веществ: простагландинов, тромбоксана А<sub>2</sub> и лейкотриенов, способствующих тромбообразованию и поддержанию воспалительных процессов.  $\omega$ -3 ПНЖК ЭПК и ДГК конкурируют с  $\omega$ -6 ПНЖК арахидоновой кислотой в про- и противовоспалительных реакциях. Следовательно, от соотношения поступления продуктов питания, содержащих эссенциальные и условно незаменимые ЖК, зависит эффективность протекания тех или иных процессов. Согласно рекомендациям Национального института здоровья США и японских национальных фондов, соотношение потребляемых  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 ПНЖК должно составлять 2:1–3:1 [23]. В то же время в большинстве индустриально развитых стран, в том числе в России, это соотношение в продуктах питания составляет в настоящее время 15:1–25:1 [29, 30]. Например, по данным ряда авторов, потребление линолевой кислоты за последние двадцать лет возросло на 50% [30].

В результате данного исследования у пациентов с ВБ в сочетании с МС установлено большее содержание  $\omega$ -3 ПНЖК  $\alpha$ -линоленовой и эйкозапентаеновой (рис. 2), а также суммарный уровень жирных кислот семейства  $\omega$ -3. В то же время у лиц данной группы концентрации  $\omega$ -6 ПНЖК — предшественников АК — линолевой и  $\gamma$ -линоленовой также были статистически значимо выше. На границе статистической



**Рис. 3.** Профили коэффициентов соотношения между этерифицированными ненасыщенными жирными кислотами, значения которых имеют статистически значимые различия между группами лиц с вибрационной болезнью и в сочетании с метаболическим синдромом.

**Fig. 3.** Profiles of the ratio coefficients between esterified unsaturated fatty acids, the values of which have statistically significant differences between the groups of persons with vibration disease and in combination with metabolic syndrome.

значимости находилось и более высокое общее содержание  $\omega$ -6 ПНЖК ( $p = 0,054$ ).

Анализ соотношения концентрации отдельных ПНЖК классов  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 позволил установить профили коэффициентов, имеющих статистически значимые различия, для обследуемых групп пациентов (рис. 3). Соотношение концентрации линолевая/ $\alpha$ -линоленовая свидетельствует о большем преобладании первой в питании у лиц с ВБ, но уже на следующем этапе превращения линолевой кислоты в гамма-линоленовую различия между группами становятся статистически незначимыми, а следующее соотношение биохимического превращения —  $\gamma$ -линоленовая/дигомо- $\gamma$ -линоленовая свидетельствует о преобладании синтеза предшественников АК у лиц с сочетанной патологией. Необходимо отметить, что соотношение  $\gamma$ -линоленовой к арахидоновой кислоте также было статистически значимо выше у лиц второй группы. В то же время суммарное соотношение ПЖК-предшественников (C20:4 $\omega$ -6/(C20:5 $\omega$ -3 + C22:6 $\omega$ -3)) про- и противовоспалительных медиаторов не достигало статистически значимых межгрупповых различий.

Таким образом, несмотря на преобладание в плазме крови (а следовательно, и в употребляемых продуктах питания) эссенциальных предшественников  $\omega$ -3 ПНЖК по сравнению с незаменимыми  $\omega$ -6 предшественниками у лиц с ВБ в сочетании с МС, на этапах их превращения происходит накопление предшественников арахидоновой кислоты как провоспалительных компонентов. И суммарное количество  $\omega$ -6 ПНЖК статистически значимо преобладает над  $\omega$ -3 ПНЖК. Учитывая, что одним из звеньев патогенеза ВБ является нарушение функции эндотелия, в качестве механизма его развития можно рассматривать формирование сосудистого воспаления в результате преобладания в организме этерифицированных  $\omega$ -6 над  $\omega$ -3 ПНЖК. В дальнейшем для подтверждения данного предположения необходимо провести подобные исследования в мембранах клеток.

## Заключение

Таким образом, у пациентов с вибрационной болезнью и в группе лиц в сочетании с метаболическим синдромом суммарные уровни  $\omega$ -6 ПНЖК в плазме крови статистически значимо превышают концентрацию  $\omega$ -3 жирных кислот в 4,5–5,4 раза.

## Литература

(п.п. 9, 11–13, 20–24, 26–29 см. References)

- Кулешова М.В., Панков В.А., Дьякович М.П., Рукавишников В.С., Сливницына Н.В., Казакова П.В. и соавт. Вибрационная болезнь у работников авиастроительного предприятия: факторы формирования, клинические проявления, социально-психологические особенности. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(10): 915–20. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-10-915-920>
- Кирьяков В.А., Павловская Н.А., Лапко И.В., Богатырева И.А., Антошина Л.И., Ошкoderов О.А. Воздействие производственной вибрации на организм человека на молекулярно-клеточном уровне. *Медицина труда и промышленная экология*. 2018; 97(9): 34–43. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2018-9-34-43>
- Бабанов С.А., Воробьева Е.В. Особенности диагностики и течения вибрационной болезни в условиях современного производства. *Трудный пациент*. 2010; 8(5): 28–30.
- Потеряева Е.Л. Роль нарушений сосудисто-тромбоцитарного гемостаза в патогенезе вибрационных микроангиопатий. *Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2004; 24(4): 52–4.
- Кирьяков В.А., Павловская Н.А., Сухова А.В., Антошина Л.И. Современные лабораторные маркеры ранних стадий формирования вибрационной болезни. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2005; (3): 27–9.
- Клюева Н.Н., Окуневич И.В., Парфенова Н.С., Белова Е.В., Агеева Е.В. Экспериментальные данные о гиполлипидемической активности отечественного ферментного препарата природного происхождения холестериноксидазы. *Биомедицинская химия*. 2019; 65(3): 227–30. <https://doi.org/10.18097/PBMC20196503227>
- Рагино Ю.И., Шербакова Л.В., Денисова Д.В., Кузьминых Н.А., Ячменева М.П., Воевода М.И. Липиды крови и стенокардия напряжения (по эпидемиологическому кардиологическому опроснику Роуза) в популяции 25–45 лет. *Кардиология*. 2019; 59(3S): 30–5. <https://doi.org/10.18087/cardio.2600>
- Шпагина Л.А., Герасименко О.Н., Дробышев В.А., Кузнецова Г.В. Эндотелиально-гемостазиологические предикторы сердечно-сосудистого риска у больных вибрационной болезнью в сочетании с артериальной гипертензией. *Сибирский медицинский вестник*. 2017; (1): 5–8.
- Тихомирова Ю.Р., Конторщикова К.Н. Уровень свободных жирных кислот и белка, связывающего жирные кислоты как предиктор коронарных событий. *Медицинский альманах*. 2016; (2): 29–31.
- Галстян Д.С., Бичкаева Ф.А., Баранова Н.Ф. Содержание полиненасыщенных жирных кислот в зависимости от индекса массы тела у жителей арктического региона. *Экология человека*. 2020; (9): 4–10. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-9-4-10>
- Лапко И.В., Кирьяков В.А., Павловская Н.А., Антошина Л.И., Ошкoderов О.А. Влияние производственной вибрации на развитие инсулинорезистентности и сахарного диабета второго типа. *Медицина труда и промышленная экология*. 2017; (2): 30–3.
- Кукс А.Н., Кудяева И.В., Сливницына Н.В. Состояние микроциркуляции у пациентов с вибрационной болезнью, имеющих метаболические нарушения. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(10): 1096–101. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1096-1101>
- Орлова Т.И., Уколов А.И., Савельева Е.И., Радилев А.С. Определение свободных и этерифицированных жирных кислот в плазме крови методом газовой хроматографии с масс-селективным детектированием. *Аналитика и контроль*. 2015; 19(2): 183–8. <https://doi.org/10.15826/analitika.2015.19.2.002>
- Петрова И.А., Гордцев А.С., Федотова И.В. Диагностические критерии вибрационной болезни на основе оценки жирно-кислотного состава сыворотки крови. *Современные технологии в медицине*. 2013; 5(3): 83–8.
- Запорожская Л.И., Гаммель И.В. Характеристика и биологическая роль эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот. *Медицинский совет*. 2012; (12): 134–6.
- Кыткова О.Ю., Новгородцева Т.П., Денисенко Ю.К., Ковалевский Д.А. Метаболические и генетические детерминанты нарушения липидного обмена при неалкогольной жировой болезни печени. *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии*. 2020; 30(2): 15–25. <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2020-30-2-15-25>

## References

- Kuleshova M.V., Pankov V.A., D'yakovich M.P., Rukavishnikov V.S., Slivnitsyna N.V., Kazakova P.V., et al. The vibration disease in workers of the aircraft enterprise: factors of the formation, clinical manifestations, social-psychological features (dynamic following-up). *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(10): 915–20. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-10-915-920> (in Russian)
- Kiryakov V.A., Pavlovskaya N.A., Lapko I.V., Bogatyreva I.A., Antoshina L.I., Oshkoderov O.A. Impact of occupational vibration on molecular and cell level of human body. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2018; 97(9): 34–43. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2018-9-34-43> (in Russian)
- Babanov S.A., Vorob'eva E.V. Peculiarities of diagnostics and course of vibration disease in the conditions of modern production. *Trudnyy patient*. 2010; 8(5): 28–30. (in Russian)
- Poteryaeva E.L. Platelet-vascular homeostasis disorders role in vibrational microangiopathies pathogenesis. *Byulleten' Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2004; 24(4): 52–4. (in Russian)
- Kiryakov V.A., Pavlovskaya N.A., Sukhova A.V., Antoshina L.I. Contemporary laboratory markers of early stages of vibratory pathology development. *Vestnik Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2005; (3): 27–9. (in Russian)
- Klyueva N.N., Okunevich I.V., Parfenova N.S., Belova E.V., Ageeva E.V. Effect of lipid-lowering activity of the natural original enzyme preparation in the experiment. *Biomeditsinskaya khimiya*. 2019; 65(3): 227–30. <https://doi.org/10.18097/PBMC20196503227> (in Russian)
- Ragino Yu.I., Shcherbakova L.V., Denisova D.V., Kuz'minykh N.A., Yachmeneva M.P., Voevoda M.I. Blood lipids and angina pectoris (by epidemiological cardiological rose questionnaire) in the population of 25–45 years of Novosibirsk. *Kardiologiya*. 2019; 59(3S): 30–5. <https://doi.org/10.18087/cardio.2600> (in Russian)
- Shpagina L.A., Gerasimenko O.N., Drobyshev V.A., Kuznetsova G.V. Endothelial hemostatic predictors of cardiovascular risk in patients with vibration disease in combination with the arterial hypertension. *Sibirskiy meditsinskiy vestnik*. 2017; (1): 5–8. (in Russian)
- Hegele R.A. Plasma lipoproteins: genetic influences and clinical implications. *Nat. Rev. Genet*. 2009; 10(2): 109–21. <https://doi.org/10.1038/nrg2481>
- Tikhomirova Yu.R., Kontorshchikova K.N. Level of free fatty acids and protein connecting fatty acids as predictor of coronary events. *Meditsinskiy al'manakh*. 2016; (2): 29–31. (in Russian)
- Sakabe M., Shiroshita-Takeshita A., Maguy A., Dumesnil C., Nigam A., Leung T.K., et al. Omega-3 polyunsaturated fatty acids prevent atrial fibrillation associated with heart failure but not atrial tachycardia remodeling. *Circulation*. 2007; 116(19): 2101–9. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.107.704759>
- Tvrzicka E., Kremmyda L.S., Stankova B., Zak A. Fatty acids as biocompounds: their role in human metabolism, health and disease – a review. Part I: classification, dietary sources and biological functions. *Biomed. Pap. Med. Fac. Univ. Palacky. Olomouc. Czech. Repub.* 2011; 155(2): 117–30. <https://doi.org/10.5507/bp.2011.038>
- Simopoulos A.P. An increase in the Omega-6/Omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity. *Nutrients*. 2016; 8(3): 128. <https://doi.org/10.3390/nu8030128>
- Galstyan D.S., Bichkaeva F.A., Baranova N.F. Concentrations of polyunsaturated fatty acids by body mass index among arctic residents. *Ekologiya cheloveka*. 2020; (9): 4–10. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-9-4-10> (in Russian)
- Lapko I.V., Kiryakov V.A., Pavlovskaya N.A., Antoshina L.I., Oshkoderov O.A. Influence of occupational vibration on development of resistance to insulin and of II type diabetes mellitus. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2017; (2): 30–3. (in Russian)
- Kuks A.N., Kudaeva I.V., Slivnitsyna N.V. The state of microcirculation in patients with vibration disease providing metabolic disorders. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(10): 1096–101. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1096-1101> (in Russian)
- Orlova T.I., Ukolov A.I., Saveleva E.I., Radilov A.S. GC-MS quantification of free and esterified fatty acids in blood plasma. *Analitika i kontrol'*. 2015; 19(2): 183–8. <https://doi.org/10.15826/analitika.2015.19.2.002> (in Russian)
- Petrova I.A., Gordetsov A.S., Fedotova I.V. Diagnostic criteria of vibration disease on the basis of the assessment of blood serum fatty acid composition. *Sovremennye tekhnologii v meditsine*. 2013; 5(3): 83–8. (in Russian)
- Zapozhzhskaya L.I., Gammel I.V. Characteristic and biological role of essential polyunsaturated fatty acids. *Meditsinskiy совет*. 2012; (12): 134–6. (in Russian)
- Broadhurst C.L., Wang Y., Crawford M.A., Cunnane S.C., Parkington J.E., Schmidt W.F. Brain-specific lipids from marine, lacustrine, or terrestrial food resources: potential impact on early African Homo sapiens. *Comp. Biochem. Physiol. B Biochem. Mol. Biol.* 2002; 131(4): 653–73. [https://doi.org/10.1016/s1096-4959\(02\)00002-7](https://doi.org/10.1016/s1096-4959(02)00002-7)

21. Stark A.H., Crawford M.A., Reifsnider R. Update on alpha-linolenic acid. *Nutr. Rev.* 2008; 66(6): 326–32. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2008.00040.x>
22. Batista C., Barros L., Carvalho A.M., Ferreira I.C. Nutritional and nutraceutical potential of rape (*Brassica napus* L. var. *napus*) and “tranchuda” cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *costata*) inflorescences. *Food Chem. Toxicol.* 2011; 49(6): 1208–14. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.02.023>
23. Davis B.C., Kris-Etherton P.M. Achieving optimal essential fatty acid status in vegetarians: current knowledge and practical implications. *Am. J. Clin. Nutr.* 2003; 78(3 Suppl.): 640S–65S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/78.3.640s>
24. Saini R.K., Keum Y.S. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: dietary sources, metabolism, and significance – A review. *Life Sci.* 2018; 203: 255–67. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.04.049>
25. Kytikova O.Yu., Novgorodtseva T.P., Denisenko Yu.K., Kovalevskiy D.A. Metabolic and genetic determinants of lipid metabolism disruption in non-alcoholic fatty liver disease. *Rossiyskiy zhurnal gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii.* 2020; 30(2): 15–25. <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2020-30-2-15-25> (in Russian)
26. Usydus Z., Szlinder-Richert J., Adamczyk M., Szatkowska U. Marine and farmed fish in the Polish market: Comparison of the nutritional value. *Food Chem.* 2011; 126(1): 78–84. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.10.080>
27. Rodríguez-Carpena J.G., Morcuende D., Estévez M. Avocado, sunflower and olive oils as replacers of pork back-fat in burger patties: effect on lipid composition, oxidative stability and quality traits. *Meat. Sci.* 2012; 90(1): 106–15. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.06.007>
28. Suchowilska E., Wiwart M., Borejszo Z., Packa D., Kandler W., Krska R. Discriminant analysis of selected yield components and fatty acid composition of chosen *Triticum monococcum*, *Triticum dicoccum* and *Triticum spelta* accessions. *J. Cereal Sci.* 2009; 49(2): 310–5. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.12.003>
29. Simopoulos A.P. Human requirement for N-3 polyunsaturated fatty acids. *Poult. Sci.* 2000; 79(7): 961–70. <https://doi.org/10.1093/ps/79.7.961>
30. Wall R., Ross R.P., Fitzgerald G.F., Stanton C. Fatty acids from fish: the anti-inflammatory potential of long-chain omega-3 fatty acids. *Nutr. Rev.* 2010; 68(5): 280–9. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2010.00287.x>