

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯDOI: <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-1-59-63>

УДК 616–001.34:612.015

© Потапова И.А., 2020

Потапова И.А.

Особенности жирно-кислотного состава сыворотки крови при вибрационной болезни

ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора, ул. Семашко, 20, Нижний Новгород, Россия, 603950

Вибрационная болезнь (ВБ) является одной из наиболее распространенных профессиональных заболеваний. Она характеризуется сложной симптоматикой клинической картины. Исследование особенностей течения ВБ различной степени выраженности с позиции метаболических нарушений является актуальным вопросом, поскольку позволит в дальнейшем установить наиболее значимые прогностические показатели. Производственная вибрация достаточно рано приводит к сдвигу в сыворотке крови уровней высших жирных кислот (ВЖК). Во многом это обусловлено тем, что ВЖК являются структурными единицами липидов клеточных мембран и предшественниками биологически активных медиаторов, активно участвуют в процессах энергообеспечения. В настоящее время нет сведений о том, существует ли достоверная связь данного показателя со степенью выраженности клинических проявлений ВБ.

Цель исследования — изучить зависимость изменений концентрационных уровней жирных кислот, отражающих специфику метаболических нарушений при ВБ, от степени выраженности патологических проявлений.

Проводилось исследование сыворотки крови рабочих виброопасных профессий с установленной в условиях клиники вибрационной болезнью. Жирно-кислотный состав сыворотки крови изучался с применением газового хроматографического комплекса, снабженного пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой с полиэтиленгликолевой фазой, модифицированной нитротерефталевой кислотой.

Установлено, что осложнение клинической картины вибрационной патологии протекает на фоне достоверных сдвигов уровней ВЖК: эйкозатриеновой и арахидоновой — у мужчин, γ-линоленовой и эйкозатриеновой — у женщин. Кроме того, у мужчин наблюдается тенденция к увеличению уровней нервоновой, эйкозопентаеновой и докозагексаеновой кислот при усугублении степени ВБ. По сравнению с рабочими, подвергающимися вибрационному воздействию, но не имеющими патологических нарушений, у мужчин установлены высокие уровни нервоновой и докозагексаеновой, у женщин — нервоновой и пальмитолеиновой кислот.

При различной степени выраженности клинических проявлений вибрационной патологии наблюдаются определенные изменения в метаболизме ВЖК. Характер сдвигов их концентрационных уровней отражает глубину нарушений реакций энергообмена, синтеза про- и противовоспалительных медиаторов, мембрано-патологических процессов. Изучение жирно-кислотного состава сыворотки крови при ВБ имеет прогностическое значение: по выявленным сдвигам уровней ВЖК можно оценить, какой метаболический процесс в организме обследуемого подвергся наиболее серьезным нарушениям, и скорректировать комплекс лечебных мероприятий.

Ключевые слова: *вибрационная болезнь; высшие жирные кислоты; сыворотка крови; газовая хроматография*

Для цитирования: Потапова И.А. Особенности жирно-кислотного состава сыворотки крови при вибрационной болезни. *Мед. труда и пром. экол.* 2020; 60 (1). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-1-59-63>

Для корреспонденции: Потапова Ирина Александровна, ст. науч. сотр. отдела гигиены ФБУН ННИИГП Роспотребнадзора, кандидат биол. наук. E-mail: PIA@nniigr.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Irina A. Potapova

Features of fatty acid composition of blood serum in vibration disease

Nizhny Novgorod research institute for hygiene and occupational pathology, Rosпотребнадзор, Semashko Str., 20, Nizhny Novgorod, Russia, 603950

Vibration disease (VD) is one of the most common occupational diseases. It is characterized by complex symptoms of the clinical picture. The study of the features of the course of VD of different severity from the position of metabolic disorders is an urgent issue, since it will allow to establish the most significant prognostic indicators in the future. Production vibration early enough leads to a shift in serum levels of higher fatty acids (HFA). This is largely due to the fact that HFA are structural units of lipids of cell membranes and precursors of biologically active mediators, are actively involved in the processes of energy supply. At present, there is no information on whether there is a reliable relationship between this indicator and the severity of clinical manifestations of VD.

The aim of the study was to study the dependence of changes in the concentration levels of fatty acids, reflecting the specifics of metabolic disorders in VD, on the severity of pathological manifestations.

The study of blood serum of workers of vibration-dangerous professions with vibration disease established in the clinic was carried out. The fatty acid composition of blood serum was studied using a gas chromatographic complex equipped with a flame ionization detector and a capillary column with a polyethylene glycol phase modified with nitroterephthalic acid.

It is established that the complication of the clinical picture of vibration pathology on the background of authentic level shifts HFA: eicosatrienoic and arachidonic in males, γ -linolenic and eicosatrienoic in women. In addition, men tend to increase the levels of nervonic, eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids with worsening of the degree of VD. Compared with workers exposed to vibration, but without pathological disorders, men have high levels of nervonic and docosahexaenoic, women-nervonic and palmitoleic acids.

With varying degrees of severity of clinical manifestations of vibration pathology, certain changes in the metabolism of the HFA are observed. The nature of shifts in their concentration levels reflects the depth of violations of energy exchange reactions, synthesis of Pro- and anti-inflammatory mediators, membrane-pathological processes. The study of fatty-acid composition of blood serum in VD has prognostic value of detected level shifts and HFA can be estimated, what the metabolic process in the body of the examinee was subjected to the most grave violations, and to adjust the complex of therapeutic measures.

Key words: vibration disease; higher fatty acids; blood serum; gas chromatography

For citation: Potapova I.A. Features of fatty acid composition of blood serum in vibration disease. *Med. truda i prom. ekol.* 2020; 60 (1). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-1-59-63>

For correspondence: Irina A. Potapova, senior researcher of hygiene department of the Central Research Institute of Hygiene of Rospotrebnadzor, Cand. of Sci. (Biol.) E-mail: PIA@nniigp.ru

Funding. The study had no funding.

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

Введение. В настоящее время вопросы вибрационной болезни (ВБ) продолжают оставаться весьма актуальными. Во многом это обусловлено широкой распространенностью заболевания, однако основными причинами являются сложность выявления ранних признаков патологического процесса, необратимость большинства функциональных изменений в организме [1–3].

На данный момент считается доказанным, что в случае сформировавшейся патологии даже устранение вибрационного фактора, применение современных клинических и альтернативных методов лечения не способны приводить к полному исчезновению нарушений, вызванных вибрацией [1,2,4,5].

В связи с этим остается актуальным вопрос детального изучения особенностей формирования и развития вибрационной патологии. Несмотря на многочисленные исследования, проводящиеся в данном направлении, многие аспекты процессов патогенеза остаются недостаточно изученными. Так известно, что первичным механизмом повреждающего действия вибрации является дестабилизация клеточных мембран: оксидативный стресс, вызванный вибрационным фактором, приводит к избыточному формированию свободных радикалов и, как следствие, развитию мембранно-патологического процесса, сопровождающегося многочисленными изменениями на молекулярном и клеточном уровнях [4,6,7].

Ранее было установлено, что производственная вибрация достаточно рано приводит к сдвигу в сыроворотке крови концентрационных уровней высших жирных кислот (ВЖК). Во многом это обусловлено тем, что данные химические вещества являются структурными единицами липидов клеточных мембран, активно участвуют в процессах энергообеспечения, являются предшественниками биологически активных медиаторов [8,9]. ВЖК очень быстро реагируют на происходящие в организме патологические и предпатологические процессы путем нарушения

их «клеточного» транспорта, а также активного участия в формировании провоспалительных и противовоспалительных факторов, что фиксируется изменением жирно-кислотного профиля в мембранах митохондрий и сыроворотке крови [4,7,10,11].

Следует отметить, что уровни ВЖК в организме во многом отражают диетические предпочтения человека. Однако, когда речь идет об исследовании населения определенной климатической полосы, региона, или группы лиц одного социального круга, любые изменения профиля жирных кислот будут в большей степени зависеть не от пищевого статуса, а от происходящих в организме патологических процессов.

Изменения ВЖК при ВБ в настоящее время недостаточно хорошо изучены. В ряде работ сообщается о зависимости между многими биохимическими показателями крови и степенью выраженности течения ВБ [12,13].

Цель исследования — изучить зависимость изменений концентрационных уровней жирных кислот, отражающих специфику метаболических нарушений при ВБ, от степени выраженности патологических проявлений

Исследование выполнено на базе ФБУН «Нижегородский НИИ гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора в двух группах лиц — рабочих виброопасных профессий с установленным в условиях клиники диагнозом ВБ (основная группа) и подвергавшихся воздействию локальной вибрации, но не имевших специфических патологических изменений здоровья (группа сравнения) (табл. 1).

Для исследования использовалась сухая сыроворотка крови. Экстракция липидной фракции осуществлялась метанол-эфирной смесью (3:1). Процедура гидролиза и метилирования проводилась с помощью 1,5% раствора серной кислоты в метаноле. Извлечение метиловых эфиров жирных кислот осуществлялось гексан-эфирной смесью (1:1).

Определяли 14 ВЖК: миристиновую ($C_{14:0}$), пальмитиновую ($C_{16:0}$), маргариновую ($C_{17:0}$), стеариновую ($C_{18:0}$),

Таблица 1 / Table 1

Характеристика групп исследования Characteristics of study groups

Группа	n		Σ	Возраст, лет	Стаж, лет
Основная	Мужчины	55	70	56,2±1,6	21,6±2,9
	Женщины	15		54,6±2,0	19,8±3,0
Сравнения	Мужчины	12	23	41,4±4,0	7,8±2,2
	Женщины	11		45,7±3,0	17,6±3,8

пальмитолеиновую ($C_{16:1}$), олеиновую ($C_{18:1}$), нервоновую ($C_{24:1}$), линолевою ($C_{18:2}$), γ -линоленовую (γ - $C_{18:3}$), эйкозатриеновую ($C_{20:3}$), арахидоновую ($C_{20:4}$), α -линоленовую (α - $C_{20:3}$), эйкозопентаеновую ($C_{20:5}$) и докозагексаеновую ($C_{22:6}$).

Определение ВЖК проводилось на газовом хроматографическом комплексе «Хромос ГХ-1000», снабженном пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой с полиэтиленгликолевой фазой, модифицированной нитротетрафталевой кислотой, 50 м×0,32 м×0,5 м.

Идентификация метиловых эфиров жирных кислот осуществлялась с помощью метилированных стандартов ВЖК, количественная оценка — методом нормирования площадей пиков их метилированных производных.

Полученные данные были обработаны с помощью программы «STATISTICA 6.0» с использованием традиционных методов вариационной статистики, непараметрического критерия Манна-Уитни, корреляционного анализа с применением критерия Спирмена.

Среди обследованных лиц в основной группе наблюдались некоторые различия в степени выраженности ВБ в зависимости от пола: среди мужчин у 80,8% вибрационная патология имела начальную степень (I), у остальных 19,2% — умеренную степень (II), у женщин степень ВБ была только начальной (I).

Клиническая картина ВБ была представлена вегетативно-сенсорной полинейропатией верхних конечностей (ВС ПНП ВК), периферическим ангиодистоническим синдромом (ПАДС), акроspазмами (АС) и дистрофическими нарушениями костей (АК).

Сравнение состава ВЖК сыворотки крови обследованных лиц в соответствии с сформированными группами показало, что при осложнении клинической картины вибра-

ционной болезни наблюдается определенное изменение содержания ряда кислот (табл. 2, 3).

Как у мужчин, так и у женщин были установлены достоверные отличия в содержании полиненасыщенных жирных кислот (ПННЖК) семейства ω -6 при различной степени выраженности заболевания. При этом для каждой кислоты данного семейства при усложнении синдрома комплекса заболевания наблюдались односторонние изменения концентраций в сыворотке крови независимо от пола больного. Там, где вибрационная болезнь начальной степени имела моно- и полисиндромный характер соответственно, не наблюдалось существенных отличий между уровнями ВЖК. По мере усложнения заболевания происходило достоверное увеличение содержания эйкозатриеновой — на 35,4% ($p=0,008$) и арахидоновой — на 36,5% ($p=0,017$) кислот. Также прослеживалась тенденция к увеличению уровней нервоновой, эйкозопентаеновой и докозагексаеновой кислот.

Независимо от выраженности проявлений ВБ уровни $C_{24:1}$, $C_{20:3}$ и $C_{22:6}$ были равновысокими относительно группы сравнения, а для $C_{20:4}$ — достоверно выше при ВБ умеренной степени. Увеличение содержания в сыворотке крови полиненасыщенных кислот сразу двух семейств ω -6 и ω -3 является прогностически неблагоприятным фактором, поскольку свидетельствует о нарушении их транспорта в клетку, что ведет к дестабилизации клеточных мембран, нарушению их функциональной активности. Кроме того, наблюдаемый сдвиг уровней данных кислот демонстрирует изменения эйкозаноидных реакций: ω -6 ВЖК в незначительной степени расходуются на синтез провоспалительных медиаторов, а ω -3 ВЖК — на синтез противовоспалительных [8,14].

Таблица 2 / Table 2

Содержание высших жирных кислот в сыворотке крови мужчин
The content of higher fatty acids in the serum of men

ВЖК	Содержание ВЖК, масс%			
	Группа 1-м	Группа 2-м	Группа 3-м	Группа сравнения
Насыщенные жирные кислоты:				
$C_{14:0}$	0,90±0,13	0,83±0,16	0,61±0,16	0,97±0,37
$C_{16:0}$	24,00±2,63	25,08±1,19	23,78±4,35	25,46±1,38
$C_{17:0}$	0,33±0,06	0,26±0,03	0,24±0,05	0,33±0,08
$C_{18:0}$	8,68±0,37	8,22±0,35	9,06±1,23	9,09±0,32
Мононенасыщенные жирные кислоты:				
$C_{16:1}$	2,10±0,41	2,42±0,56	2,38±0,77	1,67±0,38
$C_{18:1}$	22,24±1,64	21,09±0,98	20,46±2,76	20,74±1,18
$C_{24:1}$	0,31±0,08	0,34±0,06	0,59±0,23	0,16±0,07
Полиненасыщенные жирные кислоты семейства ω-6:				
$C_{18:2}$	32,60±2,02	32,90±2,06	31,24±3,06	33,97±2,68
γ - $C_{18:3}$	0,51±0,13	0,38±0,11	0,51±0,13	0,39±0,11
$C_{20:3}$	1,35±0,13	1,30±0,22	1,76±0,30 **	1,08±0,17
$C_{20:4}$	5,52±0,72	5,32±0,68	7,26±1,28 *	4,87±0,80
Полиненасыщенные жирные кислоты семейства ω-3:				
α - $C_{18:3}$	0,26±0,06	0,23±0,05	0,24±0,08	0,20±0,04
$C_{20:5}$	0,47±0,11	0,62±0,24	0,71±0,32	0,42±0,13
$C_{22:6}$	1,27±0,22	1,27±0,33	2,00±0,86	0,72±0,24

Примечания: здесь и далее * — значения, статистически значимо отличающиеся от показателей группы сравнения; достоверность по отношению к предшествующей подгруппе показана * — $p<0,05$ и ** — $p<0,01$

Notes: here and below — values are statistically significantly different from those of the comparison group; reliability in relation to the preceding subgroup is shown * — $p<0,05$ and ** — $p<0,01$

При осложнении клинической картины ВБ данное обстоятельство отражает усугубление оксидативного стресса и системного воспаления в организме. Наблюдалась значимая изменения содержания γ -линоленовой — на 58,5% ($p=0,007$) и эйкозатриеновой — на 32,6% ($p=0,027$) кислот. Как и у мужчин, у женщин при осложнении проявлений ВБ происходило снижение их концентраций, однако фиксируемые изменения являлись более глубокими: у мужчин прослеживалась только тенденция к небольшому сдвигу уровней данных кислот. Кроме того, у женщин отмечалось достоверно более низкое содержание линоленовой кислоты относительно группы сравнения, тогда как у мужчин уровень данной кислоты не менялся. Наблюдаемые сдвиги содержания $\omega-6$ ВЖК на фоне неизменного уровня $\omega-3$ ВЖК свидетельствуют о более значительной реакции женского организма на патологический процесс: происходит интенсификация расхода жирных кислот семейства $\omega-6$ на производство медиаторов провоспалительного ряда — эйкозаноидов, обладающих вазоконстрикторными свойствами, что обуславливает более тяжелое течение заболевания.

У женщин с ВБ относительно группы сравнения установлены более высокие значения концентраций пальмитолиновой кислоты ($p=0,010$; $p=0,004$), которая является участником реакций энергообразования с одной стороны и выступает в роли захватчика активных форм кислорода с другой. Следовательно, рост уровня данной кислоты в сыворотке крови указывает на изменение процессов энергообеспечения и на повышенный окислительный стресс в женском организме.

Для выявления связи между содержанием ВЖК в сыворотке крови больных ВБ и синдромом комплексом ВБ рассчитывался коэффициент ранговой корреляции Спирмена. В результате у мужчин были установлены прямые связи слабой силы с уровнями $C_{20:3}$ $\omega-6$ ($r=0,33$; $p=0,010$), $C_{20:4}$ $\omega-6$ ($r=0,33$; $p=0,009$) и $C_{22:6}$ $\omega-3$ ($r=0,33$; $p=0,011$) и средней силы с уровнем $C_{24:1}$ ($r=0,46$; $p=0,0002$), а так-

же обратные связи слабой силы для двух НЖК — $C_{17:0}$ ($r=-0,28$; $p=0,026$) и $C_{18:0}$ ($r=-0,33$; $p=0,010$). У женщин прямые корреляционные связи средней силы наблюдались для $C_{16:0}$ ($r=0,51$; $p=0,014$) и $C_{24:1}$ ($r=0,58$; $p=0,003$), высокой силы для $C_{16:1}$ ($r=0,70$; $p=0,0002$), а также обратная корреляционная связь средней силы для $C_{18:2}$ $\omega-6$ ($r=0,63$; $p=0,001$).

Несмотря на половые отличия выявленных связей полученные данные подтверждают тот факт, что при осложнении проявлений ВБ независимо от пола протекает на фоне концентрационных сдвигов насыщенных кислот, ВЖК семейства $\omega-6$ и $C_{24:1}$. Нарушение метаболизма первых свидетельствует о напряжении в системе энергообеспечения, ВЖК семейства $\omega-6$ — в состоянии метаболизма эйкозаноидов, $C_{24:1}$ — о мембрано-патологических нарушениях.

Таким образом установлено, что содержание жирных кислот в сыворотке крови является показателем, специфично отражающим особенности метаболических нарушений при вибрационной патологии. Исследование уровней индивидуальных ВЖК в сыворотке крови показывает как глубину произошедших в организме нарушений, так и основные системы, затронутые в процессе развития заболевания. С одной стороны, это позволяет выявлять ранние нарушения, характерные для ВБ, с другой — осуществлять персонализированный подход к лечению больного, поскольку уточнение особенностей жирно-кислотного профиля показывает, какие системы в организме подверглись наибольшему напряжению и требуют корректировки лечебных мероприятий.

Выводы:

1. Усиление начальной степени вибрационной патологии протекает на фоне достоверных сдвигов уровней ВЖК: эйкозатриеновой и арахидоновой у мужчин, γ -линоленовой и эйкозатриеновой у женщин.

Кроме того, у мужчин наблюдается тенденция к увеличению уровней нервоновой, эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот.

Таблица 3 / Table 3

Содержание высших жирных кислот в сыворотке крови женщин The content of higher fatty acids in the serum of women

ВЖК	Содержание ВЖК, масс%		
	Группа 1-ж	Группа 2-ж	Группа сравнения
Насыщенные жирные кислоты:			
$C_{14:0}$	1,26±0,43	0,86±0,10	0,89±0,17
$C_{16:0}$	22,71±5,87	26,21±1,09	23,73±1,39
$C_{17:0}$	0,50±0,19	0,25±0,04	0,27±0,04
$C_{18:0}$	9,71±1,45	8,56±0,61	9,44±0,38
Мононенасыщенные жирные кислоты:			
$C_{16:1}$	2,21±0,80	2,03±0,14	1,25±0,23
$C_{18:1}$	21,24±1,87	21,06±2,14	19,64±1,11
$C_{24:1}$	0,31±0,11	0,33±0,08	0,16±0,10
Полиненасыщенные жирные кислоты семейства $\omega-6$:			
$C_{18:2}$	33,62±5,42	33,20±2,59	37,50±1,72
$\gamma-C_{18:3}$	0,41±0,06	0,17±0,09 **	0,26±0,04
$C_{20:3}$	1,35±0,24	0,91±0,18 *	1,12±0,17
$C_{20:4}$	4,91±0,95	3,79±0,097	4,21±0,55
Полиненасыщенные жирные кислоты семейства $\omega-3$:			
$\alpha-C_{18:3}$	0,29±0,17	0,26±0,12	0,19±0,05
$C_{20:5}$	0,55±0,25	0,98±0,27	0,54±0,22
$C_{22:6}$	1,23±0,55	1,95±0,80	1,00±0,30

2. Рост содержания полиненасыщенных жирных кислот (ω -6 и ω -3) у мужчин при усилении заболевания указывает на усугубление оксидативного стресса и системного воспаления в организме.

3. Рост содержания полиненасыщенных жирных кислот семейства ω -6 на фоне неизменных уровней кислот семейства ω -3 у женщин при осложнении ВБ, вероятно, связан с интенсификацией образования медиаторов провоспалительного ряда.

4. По сравнению с работниками виброопасных профессий, не имеющих патологических нарушений, у мужчин с ВБ установлены высокие уровни нервной и докозагексаеновой, у женщин — нервной и пальмитолеиновой кислот. Характер изменений их концентрационных уровней отражает глубину нарушений реакций энергообмена, синтеза про- и противовоспалительных медиаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zimmerman J., Bain J., Persson M., Riley D. Effects of power tool vibration on peripheral nerve endings. *Int J Ind Ergonom.* 2017; 62: 42–7.
2. Palmer K.T., Bovenzi M. Rheumatic effects of vibration at work. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2015; 29: 424–39.
3. Vihlborg P., Bryngelsson L.L., Lindgren B., Gunnarsson L.G., Graff P. Association between vibration exposure and hand-arm vibration symptoms in a Swedish mechanical industry. *Int J Ind Ergonom.* 2017; 62: 77–81.
4. Liua Q., Wub Q., Zengb Z., Xiab L., Huang Y. Clinical effect and mechanism of acupuncture and moxibustion on occupational hand-arm vibration disease: A retrospective study. *Eur J Integr Med.* 2018; 23: 109–15.
5. Chowdhry R., Sethib V. Hand arm vibration syndrome in dentistry: A review. *Current Medicine Research and Practice.* 2017; 7: 235–39.
6. Кирьяков В.А., Павловская Н.А., Лапко И.В., Богатырева И.А., Антошина Л.И., Ошкoderov О.А. Воздействие производственной вибрации на организм человека на молекулярно-клеточном уровне. *Мед. труда и пром. экол.* 2018; 9: 34–43.
7. Pacurari M., Waugh S., Krajnak K. Acute Vibration Induces Peripheral Nerve Sensitization in a Rat Tail Model: Possible Role of Oxidative Stress and Inflammation. *Neuroscience.* 2019; 398: 263–72.
8. Рожкова Т.А., Ариповский А.В., Яровская Е.Б., Каминная В.И., Кухарчук В.В., Титов В.Н. Индивидуальные жирные кислоты плазмы крови: биологическая роль субстратов, параметры количества и качества, диагностика атеросклероза и атероматоза. *Клин. лаб. диагност.* 2017; 62(11): 655–65.
9. Calder P.C. Functional Roles of Fatty Acids and Their Effects on Human Health. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2015; 39(1S): 18S–32S.
10. Kageyama Y., Kasahara T., Nakamura T., Hattori K., Deguchi Y., Tani M. et al. Plasma Nervonic Acid Is a Potential Biomarker for Major Depressive Disorder: A Pilot Study. *Int J Neuropsychopharmacol.* 2018; 21(3): 207–15.
11. Mozaffarian D., Wu J.H.Y. Omega-3 Fatty Acids and Cardiovascular Disease. Effects on Risk Factors, Molecular Pathways, and Clinical Events. *J Am Coll Cardiol.* 2011; 58(20): 2047–67.
12. Долгушин М.В., Боденкова Г.М., Лизарев А.В. Оценка функционально-метаболических показателей системы крови при вибрационной болезни. *Известия Самарского научного центра РАН.* 2009; Т. 11, 1(6): 1207–10.
13. Курчевенко С.И., Боденкова Г.М. Формирование естественной реактивности организма при воздействии производственных физических факторов. *XXI век. Техносферная безопасность.* 2016; 1(4): 73–8.
14. Fritsche K.L. The Science of Fatty Acids and Inflammation. *American Society for Nutrition.* 2015; 6: 293S–301S.

REFERENCES

1. Zimmerman J., Bain J., Persson M., Riley D. Effects of power tool vibration on peripheral nerve endings. *Int J Ind Ergonom.* 2017; 62: 42–7.
2. Palmer K.T., Bovenzi M. Rheumatic effects of vibration at work. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2015; 29: 424–39.
3. Vihlborg P., Bryngelsson L.L., Lindgren B., Gunnarsson L.G., Graff P. Association between vibration exposure and hand-arm vibration symptoms in a Swedish mechanical industry. *Int J Ind Ergonom.* 2017; 62: 77–81.
4. Liua Q., Wub Q., Zengb Z., Xiab L., Huang Y. Clinical effect and mechanism of acupuncture and moxibustion on occupational hand-arm vibration disease: A retrospective study. *Eur J Integr Med.* 2018; 23: 109–15.
5. Chowdhry R., Sethib V. Hand arm vibration syndrome in dentistry: A review. *Current Medicine Research and Practice.* 2017; 7: 235–39.
6. Kir'yakov V.A., Pavlovskaya N.A., Lapko I.V., Bogatyreva I.A., Antoshina L.I., Oshkoderov O.A. The impact of industrial vibration on the human body at the molecular-cellular level. *Med. truda i prom. ekol.* 2018; 9: 34–43 (in Russian)
7. Pacurari M., Waugh S., Krajnak K. Acute Vibration Induces Peripheral Nerve Sensitization in a Rat Tail Model: Possible Role of Oxidative Stress and Inflammation. *Neuroscience.* 2019; 398: 263–72.
8. Rozhkova T.A., Aripovskij A.V., Yarovskaya E.B., Kaminnaya V.I., Kухarchuk V.V., Titov V.N. Plasma individual fatty acids: the biological role of substrates, quantity and quality parameters, diagnosis of atherosclerosis and atheromatosis. *Klin. lab. diagnost.* 2017; 62(11): 655–65. (in Russian)
9. Calder P.C. Functional Roles of Fatty Acids and Their Effects on Human Health. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2015; 39(1S): 18S–32S.
10. Kageyama Y., Kasahara T., Nakamura T., Hattori K., Deguchi Y., Tani M. et al. Plasma Nervonic Acid Is a Potential Biomarker for Major Depressive Disorder: A Pilot Study. *Int J Neuropsychopharmacol.* 2018; 21(3): 207–15.
11. Mozaffarian D., Wu J.H.Y. Omega-3 Fatty Acids and Cardiovascular Disease. Effects on Risk Factors, Molecular Pathways, and Clinical Events. *J Am Coll Cardiol.* 2011; 58(20): 2047–67.
12. Dolgushin M.V., Bodienkova G.M., Lizarev A.V. Evaluation of functional and metabolic parameters of the blood system in vibration disease. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN.* 2009; Т. 11, 1(6): 1207–10. (in Russian)
13. Kurchevenko S.I., Bodienkova G.M. The formation of the body's natural reactivity under the influence of physical factors of production. *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'.* 2016; 1(4): 73–8 (in Russian).
14. Fritsche K.L. The Science of Fatty Acids and Inflammation. *American Society for Nutrition.* 2015; 6: 293S–301S.

Дата поступления / Received: 03.07.2019

Дата принятия к печати / Accepted: 14.10.2019

Дата публикации / Published: 24.01.2020