

Прогностическая роль показателей окислительного метаболизма и элементного статуса у профессиональных водителей автотранспорта Северного региона

БУ «Ханты-Мансийская государственная медицинская академия», ул. Мира, 40, Ханты-Мансийск, Ханты-Мансийский автономный округ, Россия, 62811

Введение. Преобладающим источником загрязнения окружающей среды является автотранспорт, выброс поллютантов которого приводит к избыточному образованию свободных радикалов. Важнейшей метаболической частью неспецифического компонента синдрома адаптации к воздействию неблагоприятных факторов является активация процессов свободно-радикального окисления, способствующих мобилизации защитных резервов организма. Существуют данные о том, что разные группы населения обладают различной уязвимостью к прооксидантному воздействию поллютантов.

Цель исследования — установить корреляционные связи между показателями про- и антиоксидантной системы и элементным статусом у профессиональных водителей, проживающих в Ханты-Мансийском автономном округе.

Материалы и методы. Обследованы 182 жителя мужского пола ($32,6 \pm 6,2$ года) Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО): 94 водителя большегрузных автомобилей и бензовозов и 88 служащих. В крови определялись продукты свободно-радикального окисления (СРО): гидроперекиси липидов (ГПЛ) и тиобарбитуровой кислоты активные продукты (ТБК-АП) с помощью тест-наборов фирмы «BCM Diagnostics» (Германия) и «АГАТ» (Россия). Общая антиоксидантная активность (ОАА) и тиоловый статус (ТС) определялись с помощью коммерческих наборов фирмы «Сауман Chemical», «Immundiagnostik AG» (Германия). Коэффициент окислительного стресса (КОС) рассчитывался по формуле: $\text{КОС} = \text{ГПЛ} \times \text{ТБК-АП} / \text{ОАА} \times \text{ТС}$. Содержание витамина Е определялось на флуориметре «Флюорат 02 — АБЛФ» фирмы «Люмекс» (Россия), витамина С — с помощью коммерческих наборов фирмы «Immundiagnostik AG» (Германия) на анализаторе фирмы «Personal Lab» (Италия). В образцах волос АЭС — ИСП и МС — ИСП в ЦБМ (Москва) определялась концентрация макро- и микроэлементов (Ca, Se, Zn, Fe, Pb, Cd). Статистическая обработка проводилась с использованием пакета программ Microsoft Excel и «Statistica 8,0». При нормальном распределении использовали M, m, min и max значения. При ненормальном распределении использовали Me, 25 и 75 ПС. Корреляционные взаимоотношения изучались при помощи коэффициента корреляции Спирмена. Достоверными считались различия при $p < 0,05$.

Результаты. У водителей по сравнению со служащими установлены достоверно более высокие значения показателей перекисного окисления липидов (ПОЛ), Pb, Cd, Fe ($p < 0,001$ – $0,046$), на фоне более низких показателей АОС, Ca, Se, Cu, Zn ($p < 0,001$ – $0,040$). Выявлены прямые взаимосвязи между ОАА, витаминами Е, С, Se и Zn ($r = +0,312$ – $0,802$) и обратные взаимосвязи между ОАА и Pb, Cd ($r = -0,623$ – $0,558$) у водителей ХМАО с трудовым стажем более 5 лет, что связано с развитием окислительного дисбаланса, для которого характерным является повышение продуктов ПОЛ.

Выводы: Установлены взаимоотношения между показателями состояния окислительного метаболизма, обеспеченностью биоэлементами и витаминами-антиоксидантами, принимающих участие в регуляции метаболических процессов ($p = 0,048$ – $0,001$). Выявлены прямые взаимосвязи между показателями общей антиоксидантной активности, системой глутатиона и концентрацией витаминов Е, С, содержанием селена и цинка ($r = +0,312$ – $0,802$) и обратные взаимосвязи между уровнем общей антиоксидантной активностью, тиоловым статусом, и токсичными элементами: свинцом и кадмием ($r = -0,513$ – $0,604$) у мужского населения ХМАО. Более выраженные изменения адаптивных метаболических реакций в организме работников автотранспортных предприятий, имеющих трудовой стаж более 5 лет, связаны с развитием окислительного дисбаланса, для которого характерным является повышение продуктов ПОЛ. Полученные данные о состоянии окислительного статуса организма жителей, подвергающихся негативному воздействию химического фактора, могут быть базой не только при формировании групп риска, разработки и реализации комплекса научно-обоснованных профилактических мероприятий, но и для последующей оценки эффективности их использования.

Ключевые слова: северный регион; водители; ПОЛ; антиоксидантная система; химические элементы

Для цитирования: Корчина Т.Я., Корчин В.И. Прогностическая роль показателей окислительного метаболизма и элементного статуса у профессиональных водителей автотранспорта Северного региона. *Мед. труда и пром. экол.* 2020; 60 (4). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-4-238-243>

Для корреспонденции: Корчина Татьяна Яковлевна, проф. каф. анестезиологии-реаниматологии, скорой медицинской помощи и клинической токсикологии БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа «Ханты-Мансийская государственная медицинская академия», д-р мед. наук. проф. E-mail: t.korchina@mail.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Tatyana Ya. Korchina, Vladimir I. Korchin

Predictive role of indicators of oxidative metabolism and elemental status in professional drivers of vehicles in the Northern region

Khanty-Mansiysk State Medical Academy, 40, Mira str., Khanty-Mansiysk, Khanty-Mansiysk Autonomous Region, Russia, 628011

Introduction. The predominant source of environmental pollution is motor transport, the release of pollutants which leads to excessive formation of free radicals. The most important metabolic part of the non-specific component of the syndrome of adaptation to adverse factors is the activation of free radical oxidation processes that contribute to the mobilization of protective reserves of the body. There is evidence that different groups of the population have different vulnerability to Pro-oxidant exposure to pollutants.

The aim of the study is to establish correlations between the indicators of the pro — and antioxidant system and the elemental status of professional drivers living in the Khanty-Mansiysk Autonomous Region.

Materials and methods. 182 male residents (32.6 ± 6.2 years old) of the Khanty-Mansiysk Autonomous Region (KHMAR) were examined: 94 drivers of heavy trucks and fuel trucks and 88 employees. Free radical oxidation products (FRO) were determined in the blood: lipid hydroperoxides (LHP) and thiobarbituric acid active products (TBA-AP) using test kits from BCM Diagnostics (Germany) and AGAT (Russia). Total antioxidant activity (TAA) and thiol status (TS) were determined using commercial kits from Cayman Chemical and Immundiagnostik AG (Germany). The coefficient of oxidative stress (COS) was calculated using the formula: $\text{COS} = \text{LHP} \times \text{TBA-AP} / \text{TAA} \times \text{TS}$. The content of vitamin E was determined on the fluorometer "Fluorat 02 — ABLF" of the company "Lumex" (Russia), vitamin C — using commercial kits of the company "Immundiagnostik AG" (Germany) on the analyzer of the company "Personal Lab" (Italy). The concentration of macro — and microelements (Ca, Se, Zn, Fe, Pb, Cd) was determined in the samples of AES — ISP and MS — ISP hair in TcMB (Moscow). Statistical processing was performed using the Microsoft Excel software package and "Statistica 8.0". For normal distribution, M, m, min, and max values were used. For abnormal distribution, both Me, 25 and 75 PS were used. Correlation relationships were studied using Spearman's correlation coefficient. Differences at $p < 0.05$ were considered reliable.

Results. Drivers compared with employees have significantly higher values of lipid peroxidation, Pb, Cd, Fe ($p < 0.001 - 0.046$), against the background of lower indicators of AOS, Ca, Se, Cu, Zn ($p < 0.001 - 0.040$). Direct relationships between TAA, vitamins E, C, Se and Zn ($r = +0.312 - 0.802$) and inverse relationships between TAA and Pb, Cd ($r = -0.623 - 0.558$) were found in drivers of KHMAR with more than 5 years of work experience, which is associated with the development of an oxidative imbalance, which is characterized by an increase in lipid peroxidation products.

Conclusions. The relationship between the indicators of the state of oxidative metabolism, the availability of bioelements and antioxidant vitamins involved in the regulation of metabolic processes ($p = 0.048 - 0.001$) has been established. Direct relationships between the indicators of total antioxidant activity, the glutathione system and the concentration of vitamins E, C, selenium and zinc ($r = +0.312 - 0.802$) and inverse relationships between the level of total antioxidant activity, thiol status, and toxic elements: lead and cadmium ($r = -0.513 - 0.604$) in the male population of KHMAR were revealed. More pronounced changes in adaptive metabolic reactions in the body of employees of motor transport companies who have a work experience of more than 5 years are associated with the development of an oxidative imbalance, which is characterized by an increase in POL products. The obtained data on the state of the oxidative status of the body of residents exposed to the negative effects of a chemical factor can be the basis not only for the formation of risk groups, the development and implementation of a set of scientifically-based preventive measures, but also for subsequent evaluation of the effectiveness of their use.

Keywords: Northern region; drivers; lipid peroxidation; antioxidant system; chemical elements

For citation: Korchina T.Ya., Korchin V.I. Predictive role of indicators of oxidative metabolism and elemental status in professional drivers of vehicles in the Northern region. *Med. truda i prom. ekol.* 2020; 60 (4). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-4-238-243>

For correspondence: Tatyana Y. Korchina, professor of department of anesthesiology-resuscitation, emergency medicine and clinical toxicology of the Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Dr. of Sci. (Med.), prof. E-mail: t.korchina@mail.ru

Funding. The study had no funding.

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

Введение. Население многих урбанизированных территорий РФ подвергается комбинированному воздействию ряда токсических веществ. В настоящее время преобладающим источником загрязнения окружающей среды является автотранспорт [1,2]. Неблагополучная экологическая ситуация создает предпосылки для снижения резистентности и сопротивляемости организма, способствует сдвигу ряда метаболических процессов в результате негативного действия экотоксикантов, выбрасываемых в среду обитания из стационарных и мобильных источников техногенного загрязнения.

Важнейшей метаболической частью неспецифического компонента синдрома адаптации к воздействию неблагоприятных факторов является активация процессов свободно-радикального окисления (СРО), способствующих мобилизации защитных резервов организма [3,4]. Доказана взаимосвязь между неадекватной обеспеченностью организма человека макро- и микроэлементами и возникновением различных неинфекционных заболеваний [5,6]. Не вызывает сомнений важность адекватной обеспеченности антиоксидантами жителей тех регионов, которые подвер-

гаются мощному влиянию различных вредных химических токсикантов.

Цель исследования — установить корреляционные связи между показателями про- и антиоксидантной системы и элементным статусом у профессиональных водителей, проживающих в Ханты-Мансийском автономном округе.

Материалы и методы. Обследованы 182 жителя мужского пола г. Ханты-Мансийска, Сургута и Нижневартовска, средний возраст $32,6 \pm 6,2$ года. Основная группа: 94 водителя большегрузных автомобилей и бензовозов. Контрольная группа: 88 служащих. В крови определялись продукты свободно-радикального окисления (СРО): гидроперекиси липидов (ГПЛ) и тиобарбитуровой кислоты активные продукты (ТБК-АП) с помощью тест-наборов фирмы «BCM Diagnostics» (Германия) и «АГАТ» (Россия). Общая антиоксидантная активность (ОАА) и тиоловый статус (ТС) определялись с помощью коммерческих наборов фирмы «Cayman Chemical», «Immundiagnostik AG» (Германия) на автоматическом биохимическом анализаторе фирмы «AU — 680 Beckman Coulter» (США) и «Konelab 60i» (Финляндия). Коэффициент окислительно-

го стресса (КОС) рассчитывался по формуле: $\text{КОС} = \text{ГПл} \times \text{ТБК-АП} / \text{ОАА} \times \text{ТС}$.

Обеспеченность витаминами-антиоксидантами (Е, С) оценивалась биохимическими методами, а именно: содержание витаминов Е определяли по интенсивности флуоресценции липидного экстракта сыворотки крови на флуориметре «Флюорат 02 — АБЛФ» фирмы «Люмекс» (Россия), аскорбиновая кислота (витамин С) — с помощью коммерческих наборов фирмы «Immundiagnostik AG» (Германия) на анализаторе фирмы «Personal Lab» (Италия). Полученные результаты концентрации вышеуказанных витаминов в крови сравнивали с таковыми референтными величинами [7].

В образцах волос методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС — ИСП) и масс-спектропии с индуктивно связанной плазмой (МС — ИСП) в лаборатории Центра Биотической Медицины (ЦБМ, г. Москва) определялась концентрация макро- и микроэлементов (Ca, Se, Zn, Fe, Pb, Cd) при помощи масс-спектрометра ELAN 9000 фирмы «PerkinElmer — Sciex» (Канада) и атомно-эмиссионного спектрометра Optima DV 2000 фирмы «PerkinElmer Corp.» (США), а также система микроволнового разложения Multiwave 3000 фирмы «PerkinElmer — A. Paar» (Австрия). Полученные результаты сравнивались с референтными значениями [8].

Статистическая обработка проведена с использованием пакета программ MICROSOFT EXSEL и «Statistica 8,0». Тип распределения для выборок определялся с помощью критерия Шапиро — Уилка. Для описания количественных данных, имеющих нормальное распределение, ис-

пользовались среднее арифметическое (М), стандартная ошибка средней арифметической (m), минимальное (min) и максимальное (max) значения. Параметры с ненормальным распределением представляли и как медиану (Me), а в качестве мер рассеивания использовали 25 и 75 перцентили. Достоверность различий изучаемых параметров при нормальном распределении проанализирована при помощи критерия Фишера-Стьюдента, а при ненормальном — Манна-Уитни. Корреляционные взаимоотношения изучались с использованием коэффициент корреляции Спирмена. Достоверными считали различия и корреляции при $p < 0,05$.

Настоящее исследование проведено с соблюдением требований биомедицинской этики и сопровождалось добровольно полученным письменным информированным согласием обследуемых лиц.

Легитимность исследования подтверждена решением Независимого междисциплинарного этического комитета Ханты-Мансийской государственной медицинской академии в соответствии с этическими принципами Хельсинской декларации (протокол № 98 от 17.10.2014 г.).

Результаты и обсуждение. Одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха в городах и крупных промышленных центрах являются двигатели внутреннего сгорания (ДВС) автомобилей [1,2].

Доказано, что различные экотоксиканты приводят к избыточному образованию свободных радикалов. В таблице 1 представлены показатели ПОЛ и АОС у мужчин трудоспособного возраста ХМАО.

Установлены достоверно более высокие показатели ПОЛ в группе водителей ХМАО по сравнению со служащими: ГПл

Таблица 1 / Table 1

Показатели перекисного окисления липидов и антиоксидантной системы у мужского населения ХМАО
Indicators of lipid peroxidation and antioxidant system in the male population of Khanty-Mansiysk Autonomous Area

Показатель	Физиологически оптимальные значения	Мужчины трудоспособного возраста (n=182)				p
		водители (n=94)		служащие (n=88)		
		M±m	min↔max	M±m	min↔max	
Показатель перекисного окисления липидов (ПОЛ)						
ГПл, мкмоль/л	225–450	458,4±21,8	485↔540	345,6±23,2	365↔432	0,026
ТБК-АП мкмоль/л	2,2–4,8	5,1±0,34	4,70↔5,86	3,6±0,44	3,26↔4,52	0,003
Показатель антиоксидантной системы (АОС)						
ОАА, ммоль/л	0,5–2,0	0,47±0,07	0,34↔0,49	1,16±0,12	0,78↔1,88	<0,001
ТС, мкмоль/л	430–660	418,6±24,5	378↔442	496,5±36,2	412↔596	0,002
КОС, усл. ед.	1,6–2,3	11,8±1,30	8,52↔12,6	2,16±0,38	1,84↔2,54	0,002
Витамин Е, мкг/мл	5–18,0	4,4±0,12	3,4↔6,5	5,2±0,24	3,7↔7,9	0,014
Витамин С, мг/л	4–15,0	3,5±0,55	3,2↔4,9	5,8±0,64	3,1↔10,2	0,025

Таблица 2 / Table 2

Элементный состав волос мужского населения ХМАО, мкг/г
Elemental composition of hair of the male population of the Khanty-Mansiysk Autonomous Area, mcg/g

Химический элемент	Мужчины трудоспособного возраста (n=182)						p
	водители (n=94)			служащие (n=88)			
	M±m	Me	25↔75	M±m	Me	25↔75	
Ca	584,5±59,0	601,4	273↔845	936,7±107	1028	459↔1121	0,019
Cu	11,03±0,56	10,9	8,5↔11,5	13,6±0,67	14,9	10,6↔16,9	0,010
Zn	184,1±5,1	179,8	120↔211	205,6±7,3	210	168↔216	0,040
Se	0,12±0,007	0,13	0,09↔0,38	0,45±0,03	0,42	0,26↔0,54	<0,001
Pb	1,23±0,08	1,09	0,32↔2,1	0,52±0,05	0,37	0,31↔0,63	<0,001
Cd	0,08±0,004	0,08	0,04↔0,16	0,034±0,004	0,04	0,03↔0,13	<0,001
Fe	25.92±2.3	26.1	12.8↔28.7	19.3±2.1	18.6	12.9↔26.8	0,046

($p=0,026$), ТБК-АП ($p=0,003$) на фоне более низких значений АОС: ОАА ($p<0,001$), ТС ($p=0,002$), КОС ($p=0,002$), витамин Е ($p=0,014$), витамин С ($p=0,025$) (табл. 1).

Адаптивные и дизадаптивные процессы, происходящие в организме человека, тесно связаны с биогеохимической средой обитания [9].

Жизненно необходимые и токсичные химические соединения, поступающие в организм с воздухом, пищей и питьевой водой способны существенно повлиять на здоровье населения. Успехи в области охраны и укрепления здоровья населения в значительной степени зависят от состояния окружающей среды [10,11].

Анализ состояния элементного статуса позволяет оценивать возможности адаптационных резервов организма в различных условиях среды обитания человека, так как биоэлементы входят в состав биологически активных веществ, обеспечивая им катализирующую способность воздействовать на многие биохимические реакции в организме человека [12]. Это особенно актуально для групп людей, постоянно подвергающихся негативному влиянию токсического прессинга в процессе их трудовой деятельности.

В табл. 2 представлены результаты концентрации химических элементов в волосах у мужского населения ХМАО.

Средние величины концентрации исследуемых химических элементов у всех представителей обеих групп находились в диапазоне физиологически адекватных значений для лиц соответствующего возраста. Однако были выявлены значимые межгрупповые и индивидуальные различия: достоверно меньшие показатели концентрации Са ($p=0,019$), являющегося универсальным антагонистом тяжелых металлов и токсичных химических элементов, а также микроэлементов, обладающих антиоксидантной активностью: Си ($p=0,010$), Се ($p<0,001$) и Zn ($p=0,040$) на фоне достоверно высокой концентрации токсичных химических элементов: Cd, Pb ($p<0,001$) и Fe ($p=0,046$), обладающего прооксидантными свойствами (табл. 2).

Важно отметить, что более чем у 1/3 профессиональных водителей выявлены отклонения в содержании Са. Обращает на себя внимание тотальный недостаток эссенциального микроэлемента Се, обладающего выраженной антиоксидантной активностью, который был свойственен практически всем водителям — 90,4% и большей части служащих (контрольная группа) — 61,4%. Это свидетельствует, с одной стороны, о недостаточном поступлении его с пищей, а, с другой стороны, об усиленном его расходовании. Полученные результаты подтверждают данные о низкой обеспеченности Се населения ХМАО, которые были приведены в публикациях ряда авторов [13,14].

Таким образом, анализ результатов исследования показателей перекисного окисления липидов, АОС и элементного статуса выявил увеличение активности окислительного стресса у водителей ХМАО с одновременным снижением функционирования компонентов АОС и подтвердил наличие дисбаланса химических элементов в организме у обследуемых лиц, наиболее подверженных в процессе трудовой деятельности негативному влиянию вредных аэроплютантов.

Многочисленными исследованиями последних десятилетий убедительно показано, что нарушения в работе антиоксидантной системы снижают защищенность клетки и ее генетического материала от повреждающего действия агрессивных форм кислорода, усиливают изнашиваемость организма, уменьшают эффективность иммунной системы, повышают риск развития более чем 100 заболеваний [15]. В этой связи интерес представлял корреляционный анализ

взаимоотношений между показателями про- и антиоксидантной системы в организме трудоспособного населения ХМАО-Югры, чья профессиональная деятельность сопровождается техногенным прессингом поллютантов в течение 3–5 и более лет.

С целью выявления корреляционных связей между изучаемыми показателями основная группа была разделена на 2 части: водители со стажем работы до 5 лет ($n=36$) и со стажем более 5 лет ($n=58$).

В таблице 3 представлены взаимосвязи между показателями ПОЛ, АОС, витаминами-антиоксидантами и химическими элементами у водителей ХМАО, подвергающихся техногенной нагрузке.

Таблица 3 / Table 3
Взаимосвязи между показателями ПОЛ, АОС и элементным статусом у водителей ХМАО с различным трудовым стажем до 5 лет / более 5 лет
The relationship between the indicators of lipid peroxidation, antioxidant system and the element status of drivers of Khanty-Mansiysk Autonomous Area with different work experience (up to 5 years / more than 5 years)

Показатель	Коэффициент корреляции, r	p-level
ГПл↔витамин Е	–0,642 / –0,704	0,007 / <0,001
ТБК-АП↔витамин Е	–0,544 / –0,637	0,009 / 0,005
Се↔витамин Е	0,825 / 0,843	<0,001 / <0,001
Се↔ОАА	0,735 / 0,810	<0,001 / <0,001
Се↔ТС	0,528 / 0,563	0,007 / 0,008
Се↔ГПл	–0,688 / –0,709	0,002 / <0,001
Се↔ТБК	–0,425 / –0,511	0,012 / 0,008
Pb↔витамин С	–0,243 / –0,268	0,078 / 0,062
Cd↔витамин С	–0,419 / –0,518	0,012 / 0,008
Pb↔ОАА	–0,584 / –0,623	0,008 / 0,006
Pb↔ГПл	0,495 / 0,518	0,011 / 0,009
Pb↔ТБК	0,427 / 0,493	0,012 / 0,011
Cd↔ОАА	–0,514 / –0,558	0,009 / 0,008
Cd↔ГПл	0,529 / 0,556	0,009 / 0,008
Ca↔Pb	–0,596 / 0,639	0,007 / 0,006
Ca↔Cd	–0,426 / –0,498	0,012 / 0,011

Витамин Е является основным антиоксидантом биологических мембран. Он способен перехватывать свободные радикалы, тем самым предотвращая цепную реакцию разрушения жиров. Помимо поддержания целостности клеточных мембран организма, токоферол защищает жиры в липопротеидах низкой плотности (ЛПНП) от окисления. Однако при нейтрализации молекулой α-токоферола свободных радикалов его антиоксидантные способности теряются, в то время как аскорбиновая кислота обладает способностью регенерировать антиоксидантную емкость витамина Е [16].

Витамин Е активнее витамина С в отношении подавления окисления липидов. Жирорастворимый витамин Е в основном действует на клеточные мембраны, находясь в их липидной среде. Данный эффект связан с угнетением перекисного окисления и повреждения свободными радикалами липидов мембран, уменьшением накопления перекисей полиненасыщенных жирных кислот и продуктов их дальнейших превращений, которые, в свою очередь, также оказывают повреждающее влияние на клетки и их органеллы. Это подтверждается установленными значительными

обратными взаимосвязями между витамином Е и ГПл ($r = -0,642$ при стаже < 5 лет и $r = -0,704$ при стаже > 5 лет), а также витамин $E \leftrightarrow$ ТБК-АП: $r = -0,544$ при стаже < 5 лет и $r = -0,637$ при стаже > 5 лет (табл. 3).

Известно, что антиоксидатель токоферол проявляет свою высокую эффективность в сочетании с другими антиоксидантами, в частности с Se. Причем синергизм настолько высок, что Se в отсутствии α -токоферола теряет свои антиоксидантные свойства. В организме витамин Е наиболее тесно связан с метаболизмом Se: они действуют как мощные антиоксиданты, дополняя друг друга в надежной защите клеток и тканей от продуктов свободно-радикального окисления [6]. Антиоксидантный эффект Se повышается в присутствии витамина Е, что подтверждается прямыми сильными взаимосвязями между данными микронутриентами: $r = +0,825$ у лиц со стажем < 5 лет и $r = +0,843$ — со стажем > 5 лет (табл. 3). При этом антиоксидантная активность Se в 50–500 раз выше, чем у витамина Е.

Витамин С является высокоэффективным антиоксидантом. Даже в небольших количествах он может защищать белки, жиры, углеводы, нуклеиновые кислоты от повреждения свободными радикалами. Витамин С также регенерирует другие антиоксиданты, такие как витамин Е. Помимо этого, он активно участвует в обезвреживании токсинов и такого токсичного химического элемента, как Pb ($r = -0,243$ у лиц со стажем < 5 лет и $r = -0,268$ у лиц со стажем > 5 лет). Еще более значимо влияние витамина С сказывается на концентрации Cd в организме человека: $r = -0,419$ у лиц со стажем < 5 лет и $r = -0,518$ у лиц со стажем > 5 лет (табл. 3). Доказано также, что витамин С предотвращает образование в организме нитрозаминов — веществ, обладающих мощным канцерогенным действием [16].

В настоящее время как отечественные, так и зарубежные научные коллективы занимаются изучением функционирования химических элементов, их роли в патогенезе различных заболеваний и поиском путей коррекции патологических состояний. При этом все чаще изучение элементного статуса становится инструментом обширных скрининговых исследований здорового населения. Исследуется взаимосвязь содержания химических элементов в волосах с физиологическими показателями, образом жизни, а также с возрастными и половыми особенностями элементного статуса. Ряд исследований направлен на изучение влияния экологических факторов и характера питания на «элементный портрет» человека [5,6,14].

Резервами второй линии защиты являются белки — ферменты, в состав которых входят микроэлементы Se, Cu, Zn, Ca и др.

Одной из важнейших функций Se является его участие в антиоксидантной системе организма человека, поскольку этот элемент входит в состав глутатионпероксидазы, глицинредуктазы, цитохрома С. Статус одного из мощнейших антиоксидантов подтверждается обнаруженными сильными прямыми корреляционными связями: $Se \leftrightarrow$ ОАА — $r = +0,735$ у лиц со стажем < 5 лет и $r = +0,810$ у лиц со стажем > 5 лет, а также взаимосвязью Se и ТБК: $r = +0,528$ у водителей со стажем < 5 лет и $r = +0,563$ — со стажем > 5 лет. Были выявлены значительные обратные взаимосвязи между Se и показателями продуктов ПОЛ: $Se \leftrightarrow$ ГПл ($r = -0,688$ у водителей со стажем < 5 лет и $r = -0,709$ — со стажем > 5 лет), $Se \leftrightarrow$ ТБК ($r = -0,425$ со стажем < 5 лет и $r = -0,511$ со стажем > 5 лет, табл. 3).

Доказано, что токсичные химические элементы (Pb, Cd и др.), могут инициировать образование свободных радикалов, которые являются высокореактивными молекулами

и разрушают клеточные структуры, такие как углеводы, нуклеиновые кислоты, липиды и белки [5,12,15]. Проведенный нами корреляционный анализ позволил выявить прямые взаимосвязи $Pb \leftrightarrow$ ГПл: умеренные ($r = +0,495$) у лиц со стажем < 5 лет и значительные ($r = 0,518$) у водителей с более длительным сроком (> 5 лет) воздействия токсикантов. Аналогичную картину наблюдалась и в отношении другого показателя прооксидантной активности: $Pb \leftrightarrow$ ТБК ($r = +0,427$ у лиц со стажем < 5 лет и $r = +0,493$ у лиц со стажем > 5 лет, табл. 3).

Биологическая роль многоуровневой АОС заключается в том, чтобы обеспечить стабильную регуляцию процессов СРО, прежде всего оптимальный баланс прооксидантов и антиоксидантов в клетках и тканях в зависимости от функционального состояния организма и от влияния разнообразных факторов среды обитания [10,11]. Выявлены значительные обратные взаимосвязи $Pb \leftrightarrow$ ОАА: ($r = -0,584$ у лиц со стажем < 5 лет и $r = -0,623$ со стажем > 5 лет) и умеренные обратные связи $Pb \leftrightarrow$ ТБК: ($r = -0,402$ со стажем < 5 лет и $r = -0,458$ со стажем > 5 лет, табл. 3).

По аналогии со свинцом Cd способен стимулировать окислительный стресс [5], что проявляется значительными корреляционными связями — обратными между Cd и показателями антиоксидантной системы: $Cd \leftrightarrow$ ОАА ($r = -0,514$ у лиц со стажем < 5 лет и более тесной — у работников со стажем > 5 лет: $r = -0,558$), $Cd \leftrightarrow$ ТБК ($r = -0,425$ у лиц со стажем < 5 лет и более тесной — у лиц со стажем > 5 лет ($r = -0,502$). Выявлены прямые взаимосвязи между Cd и прооксидантными показателями: $Cd \leftrightarrow$ ГПл ($r = 0,529$ у лиц со стажем < 5 лет и $r = 0,556$ у лиц со стажем > 5 лет), $Cd \leftrightarrow$ ТБК ($r = 0,486$ у водителей со стажем < 5 лет и более значимой взаимосвязью со стажем работы > 5 лет: $r = +0,512$, табл. 3).

Доказано, что Са занимает доминирующее положение в конкуренции с тяжелыми металлами и токсичными химическими элементами за активные участки белков [5]. Это отражено значительными обратными корреляционными связями между $Ca \leftrightarrow$ Pb ($r = -0,596$ у лиц со стажем < 5 лет и статистически более значимой у лиц со стажем работы > 5 лет: $r = -0,639$). Также были выявлены взаимосвязи $Ca \leftrightarrow$ Cd ($r = -0,426$ у лиц со стажем < 5 лет и $r = -0,498$ у лиц со стажем > 5 лет).

Таким образом, обнаруженные значительные корреляционные связи между показателями ПОЛ и АОС свидетельствуют о большей активности прооксидантной системы и ослаблении влияния антиоксидантной защиты у работников автотранспортных предприятий с более длительным стажем работы (> 5 лет).

Выводы:

1. Установлены взаимоотношения между показателями состояния окислительного метаболизма, обеспеченностью биоэлементами и витаминами-антиоксидантами, принимающих участие в регуляции метаболических процессов ($p = 0,048–0,001$). Выявлены прямые взаимосвязи между показателями общей антиоксидантной активности, системой глутатиона и концентрацией витаминов Е, С, содержанием селена и цинка ($r = +0,312–0,802$) и обратные взаимосвязи между уровнем общей антиоксидантной активностью, тиоловым статусом, и токсичными элементами: свинцом и кадмием ($r = -0,513–0,604$) у мужского населения ХМАО.

2. Более выраженные изменения адаптивных метаболических реакций в организме работников автотранспортных предприятий, имеющих трудовой стаж более 5 лет, связаны с развитием окислительного дисбаланса, для которого характерным является повышение продуктов ПОЛ.

3. Полученные данные о состоянии окислительного статуса организма жителей, подвергающихся негативному воздействию химического фактора, могут быть базой не только при формировании групп риска, разработки и реализации комплекса научно-обоснованных профилактических мероприятий, но и для последующей оценки эффективности их использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдурахманова Э.Г. Влияние выхлопных газов на организм человека. Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2015; (1): 53–7.
2. Голохваст К.С., Чернышов В.В., Угай С.М. Выбросы автотранспорта и экология человека (обзор литературы). Экология человека. 2016; (1): 9–14.
3. Хаснулин В.И., Хаснулин П.В. Современные представления о механизмах формирования северного стресса у человека в высоких широтах. Экология человека. 2012; (1): 3–11.
4. Halliwell B. Free radicals and antioxidants: updating a personal view. *Nutr. Rev.* 2012; (70, 5): 257–65.
5. Нотова С.В., Мирошников С.В., Барышева Е.С. и др. Особенности элементного состава биосубстратов организма как показатель адаптации к изменяющимся условиям. Технологии живых систем. 2014; (11, 4): 21–4.
6. Скальный А.В. Микроэлементы. Изд. 4-е, переработанное. М.: «Фабрика блокнотов»; 2018: 295. 6
7. Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Мазо В.К. Витамины и окислительный стресс. Вопросы питания. 2013; 82, 3: 11–7.
8. Skalny A.V., Skalnaya M.G., Tinkov A.A. et al. Hair concentration of essential trace elements in adult non-exposed Russian population. *Environmental monitoring and assessment.* 2015; (187, 11): 1–8.
9. Суханова С.Г., Горбачев А.П. Региональные особенности микроэлементного состава биосубстратов у жителей Северо-Западного региона. Микроэлементы в медицине. 2018; (18, 2): 10–6.
10. Клейн С.В., Вековщина С.А., Балашов С.Ю., и др. Анализ причинно-следственных связей уровней биологических маркеров экспозиции тяжелых металлов с их персонифицированной дозовой нагрузкой в зоне влияния отходов крупного металлургического комбината. Гигиена и санитария. 2017; (96, 1): 29–35.
11. Nelson L., Valle J., King G. et al. Estimating the Proportion of Children Cancer Cases and Costs Attributable to the Environment in California. *Am. J. Public Health.* 2017; (107): 756–62.
12. Ding Z., Hu X. Ecological and human health risks from metal(loid)s in peri-urban soil in Nanjing, China. *Environ Geochem Health.* 2014; (36): 399–408.
13. Голубкина Н.А., Корчина Т.Я., Меркулова Н.Н., Песин С.А. Селеновый статус Ханты-Мансийского автономного округа. Микроэлементы в медицине. 2005; (6, 1): 2–7.
14. Корчин В.И., Макаева Ю.С., Корчина Т.Я., Шагина Е.А. Влияние техногенного загрязнения на показатели состояния свободно-радикального окисления и микронутриентного статуса у работников автозаправочных станций, проживающих на территории ХМАО-Югры. Здоровье населения и среда обитания. 2017; 3: 39–42.
15. Чанчаева Е.А., Айзман Р.И., Герасев А.Д. Современные представления об антиоксидантной системе организма человека. Экология человека. 2013; (7): 50–8.
16. Ших Е.В., Махова А.А. Роль аскорбиновой кислоты и токоферола в профилактике и лечении заболеваний с точки

зрения доказательной медицины. *Терапевтический архив.* 2015; (87, 4): 98–102.

REFERENCES

1. Abdurakhmanova E.G. The effect of exhaust gases on the human body. *Safety issues in emergency response.* 2015; (1): 53–7 (in Russian).
2. Golokhvast KS, Chernyshov VV, Ugay S.M. Automobile emissions and human ecology (literature review). *Human ecology.* 2016; (1): 9–14 (in Russian).
3. Khasnulin V.I., Khasnulin P.V. Modern ideas about the mechanisms of the formation of northern stress in humans at high latitudes. *Human ecology.* 2012; (1): 3–11.
4. Halliwell B. Free radicals and antioxidants: updating a personal view. *Nutr. Rev.* 2012; (70, 5): 257–265.
5. Notova S.V., Miroshnikov S.V., Barysheva E.S. and others. Features of the elemental composition of biosubstrates of the body as an indicator of adaptation to changing conditions. *Technologies of living systems.* 2014; (11, 4): 21–4 (in Russian).
6. Skalny A.V. *Trace elements. Ed. 4th, revised.* M.: "Notebook Factory"; 2018: 295 (in Russian).
7. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Maso V.K. Vitamins and oxidative stress. *Nutrition issues.* 2013; (82, 3): 11–7.
8. Skalny A.V., Skalnaya M.G., Tinkov A.A. et al. Hair concentration of essential trace elements in adult non-exposed Russian population. *Environmental monitoring and assessment.* 2015; (187, 11): 1–8.
9. Sukhanova S.G., Gorbachev A.P. Regional features of the microelement composition of biosubstrates among residents of the Northwest region. *Trace elements in medicine.* 2018; (18, 2): 10–6 (in Russian).
10. Klein S.V., Vekovshina S.A., Balashov S.Yu., et al. Analysis of cause-effect relationships of levels of biological markers of exposure of heavy metals with their personalized dose loading in the zone of influence of waste from a large metallurgical plant. *Hygiene and sanitation.* 2017; (96, 1): 29–35 (in Russian).
11. Nelson L., Valle J., King G. et al. Estimating the Proportion of Children Cancer Cases and Costs Attributable to the Environment in California. *Am. J. Public Health.* 2017; (107): 756–62.
12. Ding Z., Hu X. Ecological and human health risks from metal(loid)s in peri-urban soil in Nanjing, China. *Environ Geochem Health.* 2014; (36): 399–408.
13. Golubkina N.A., Korchina T.Ya., Merkulova N.N., Pesin S.A. Selenium status of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug. *Trace elements in medicine.* 2005; 6, 1: 2–7 (in Russian).
14. Korchin V.I., Makaeva Yu.S., Korchina T.Ya., Shagina E.A. The effect of technogenic pollution on the indicators of the state of free radical oxidation and micronutrient status in gas station workers living in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra. *Public health and habitat.* 2017; 3: 39–42 (in Russian).
15. Changchaeva E.A., Aizman R.I., Gerashev A.D. Modern ideas about the antioxidant system of the human body. *Human ecology.* 2013; (7): 50–8 (in Russian).
16. Shikh E.V., Makhova A.A. The role of ascorbic acid and tocopherol in the prevention and treatment of diseases from the point of view of evidence-based medicine. *Therapeutic Archive.* 2015; (87, 4): 98–102. (in Russian)

Дата поступления / Received: 20.11.2019

Дата принятия к печати / Accepted: 23.03.2020

Дата публикации / Published: 14.04.2020