

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В МЕДИЦИНЕ

TRACE ELEMENTS IN MEDICINE

Том 26

Декабрь

December

Vol. 26

Вып. 4

2025

2025

No. 4

Москва • 2025 • Moscow

**Орган Российского общества медицинской элементологии
и Института микроэлементов ЮНЕСКО**
*Journal of the Russian Society of Trace Elements in Medicine
and Trace Element - Institute for UNESCO*

**Журнал основан и издается при поддержке
АНО «Центр биотической медицины»**
*Founded and supported by
ANO "Centre for Biotic Medicine"*

Номер выпущен в декабре 2025
Published in December 2025

Международный научно-практический рецензируемый журнал
Издается с 2000 г. на русском и английском языках
*The journal is peer-reviewing
Issued since 2000 in Russian and English*

Журнал включен в перечень ВАК:

1.5.4. Биохимия (медицинские науки); 1.5.5. Физиология человека и животных (медицинские науки);
1.5.8. Математическая биология, биоинформатика (медицинские науки); 1.5.24. Нейробиология (медицинские науки); 3.3.3. Патологическая физиология (биологические, медицинские науки); 3.3.5. Судебная медицина (медицинские науки); 3.3.6. Фармакология клиническая фармакология (биологические науки); 3.3.8. Клиническая лабораторная диагностика (биологические, медицинские науки)

*Journal is accredited by Supreme Attestation Commission
of the Russian Federation:*

1.5.4. Biochemistry (medical sciences); 1.5.5. Physiology of humans and animals (medical sciences);
1.5.8. Mathematical biology, bioinformatics (medical sciences); 1.5.24. Neurobiology (medical sciences); 3.3.3. Pathological physiology (biological, medical sciences); 3.3.5. Forensic medicine (medical sciences); 3.3.6. Pharmacology, clinical pharmacology (biological sciences); 3.3.8. Clinical laboratory diagnostics (biological, medical sciences)

Журнал выходит 4 раза в год
The journal is quarterly

Адрес редакции:
105064 Москва, ул. Земляной Вал, 46, АНО ЦБМ
E-mail: journaltem@gmail.com
Факс: (495)936-01-38

Address:
105064 Moscow, Zemlyanoy Val str., 46, NGO CBM
E-mail: journaltem@gmail.com
Fax: (495)936-01-38

Подписано в печать 30.12.2025. Формат 60×90/8
Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 8. Тираж 50 экз.

ПРОБЛЕМНАЯ СТАТЬЯ

РОЛЬ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ОРГАНИЗМА МАГНИЕМ В ПРОФИЛАКТИКЕ И ЛЕЧЕНИИ ХРОНИЧЕСКИХ НЕИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ, АССОЦИИРОВАННЫХ С ХРОНИЧЕСКИМ ВОСПАЛЕНИЕМ

**Х.Х. Шарафетдинов^{1,2,3}, Р.И. Алексеева¹, В.М. Коденцова¹,
О.А. Плотникова¹, В.В. Пилипенко¹**

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»,
Российская Федерация, 109240, Москва, Устьинский проезд 2/14

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
дополнительного профессионального образования
«Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования»
Министерства здравоохранения Российской Федерации,
Российская Федерация, 125993, Москва, ул. Баррикадная, д.2/1, стр.1

³Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова
Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет),
Российская Федерация, 119048, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2

РЕЗЮМЕ. Микроэлементы играют важную роль в патогенезе метаболических нарушений у лиц с хроническими неинфекционными заболеваниями (ХНИЗ), ассоциированными с хроническим воспалением.

Цель обзора – оценить потребление магния (Mg) и частоту гипомagneмии среди пациентов с ХНИЗ, а также обобщить результаты исследований влияния дополнительного приема Mg на профилактику и течение заболеваний.

Результаты. Недостаточное потребление магния с пищей связано с более высокими уровнями воспаления. С одной стороны, гипомagneмия может выступать фактором риска многих заболеваний, ассоциированных с хроническим воспалением (эссенциальная гипертензия, избыточная масса тела, ожирение, сахарный диабет 2-го типа (СД2) с осложнениями, ишемический инсульт). С другой стороны, гипомagneмию могут вызывать заболевания почек, включая канальцевую дисфункцию, диабетическую нефропатию (приводящую к повышенной потере магния с мочой), а также применение некоторых лекарственных препаратов (диуретиков, ингибиторов протонной помпы и некоторых антибиотиков). При СД2, ожирении, избыточной массе тела, сердечной недостаточности и др. уровень магния в сыворотке крови снижен по сравнению с показателем здоровых лиц, дефицит встречается чаще. При сниженном уровне магния при ожирении наблюдается нарушение углеводного контроля. У пациентов с СД2 с гипомagneмией частота диабетической ретинопатии, диабетической нейропатии и диабетической нефропатии выше, чем у пациентов с нормальным уровнем магния. У пациентов с СД2 и сердечной недостаточностью, имеющих сниженный уровень магния в сыворотке крови, увеличивался риск смерти.

Достаточно длительный (6–12 недель) дополнительный прием магния в разных формах (оксид, аспартат, лактат, хлорид, цитрат или хелат) в дозах (250–600 мг), соразмерных с физиологической потребностью, не превышающими верхний допустимый уровень потребления в составе БАД к пище, приводит к повышению концентрации магния в сыворотке крови и оказывает определенный клинический эффект у пациентов с СД2 (снижение глюкозы натощак и индекса НОМА-IR, постпрандиальная гликемия) и ожирением (снижение ИМТ) и может быть рекомендован для применения в составе комплексной диетотерапии.

Выводы. Достаточное потребление магния с пищей положительно влияет на снижение риска метаболических нарушений. Развитие многих патологических процессов можно предотвратить или замедлить, восполняя недостаточное потребление магния. Дополнительный прием магния в составе комплексной диетотерапии оказывает плеiotропное метаболическое действие. Доказана целесообразность компенсации дефицита магния в питании как в профилактических целях у здорового человека, так и как часть диетотерапии при ХНИЗ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: магний, хронические неинфекционные заболевания, сахарный диабет 2-го типа, воспаление, ожирение.

Для цитирования: Шарафетдинов Х.Х., Алексеева Р.И., Коденцова В.М., Плотникова О.А., Пилипенко В.В. Роль обеспеченности организма магнием в профилактике и лечении хронических неинфекционных заболеваний, ассоциированных с хроническим воспалением. Микроэлементы в медицине. Микроэлементы в медицине. 2025;26(4):3–14. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-4-3-14.

* Адрес для переписки:

Шарафетдинов Хайдер Хамзярович

E-mail: sharafandr@mail.ru

© Микроэлементы в медицине/Trace elements in medicine, 2025

DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-4-3-14

ВВЕДЕНИЕ

Микроэлементы играют важную роль в патогенезе метаболических нарушений у лиц с хроническими неинфекционными заболеваниями (ХНИЗ), ассоциированными с хроническим воспалением. Хроническое воспаление является одним из компонентов патогенеза осложнений при сахарном диабете 2-го типа (СД2). Слабо интенсивное воспаление жировой ткани является ключевым драйвером инсулинорезистентности и метаболических осложнений.

Диетические вмешательства на основе принципов доказательной медицины являются основой в профилактике и лечении ХНИЗ, важным компонентом здорового образа жизни и способствуют сохранению активного долголетия (Драпкина и др., 2022; Стародубова и др. 2024). В настоящее время ведется поиск путей, влияющих на хроническое субклиническое воспаление (инфламмейджинг (inflammaging: воспаление (inflammation) + старение (aging)) и окислительный стресс (Chen et al., 2024). В основе здорового питания лежит потребление продуктов, обладающих противовоспалительным действием (овощи, фрукты, цельные зерна, жирная рыба, орехи, специи), и ограничение потребления продуктов, обладающих провоспалительным действием (простые углеводы, обработанное мясо, насыщенные жиры).

Недостаточное потребление магния (Mg) широко распространено, особенно среди тех, кто потребляет подвергнутые интенсивной переработке (ультраобработанные) пищевые продукты. Поскольку дефицит Mg вызывает окислительный стресс и хроническое субклиническое воспаление, интерес к этому элементу растет, особенно в контексте распространенности и лечения алиментарно-зависимых ХНИЗ.

Цель обзора – оценка потребления Mg и частоты гипомagneмии среди пациентов с ХНИЗ, а также обобщение результатов исследований по влиянию дополнительного приема Mg на течение заболеваний.

Данные литературы были проанализированы по базам данных РИНЦ, Pubmed, а также в системах Google Scholar по ключевым словам «magnesium», и «inflammation», или «type 2 diabetes mellitus», или «obesity».

Во всех найденных статьях с целью выявления дополнительных не обнаруженных публикаций изучена библиография. Анализировали оригинальные исследовательские и обзорные статьи,

опубликованные в научных журналах на русском и английском языках.

Критерии включения и исключения источников. При анализе результатов применения Mg в клинической практике рассматривали только рандомизированные интервенционные исследования, которые содержали сведения о продолжительности наблюдения и соразмерной с физиологической потребностью организма дозе перорально принимаемого Mg. При включении источников не учитывали такие факторы, как калорийность рациона, уровень физической активности участников, наличие или отсутствие у них осложнений и прием лекарственных средств. В ответ на прием Mg учитывали его концентрацию в сыворотке крови и другие показатели, специфичные для той или иной патологии.

Под критерии исключения попадали тезисы, опубликованные в сборниках материалов конференций, и исследования, выполненные на животных и моделях *in vitro*, а также исследования с применением высоких терапевтических доз Mg или внутривенного введения.

ФАКТИЧЕСКОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ МАГНИЯ И ЕГО СВЯЗЬ С ХРОНИЧЕСКИМИ НЕИНФЕКЦИОННЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ

Магний является незаменимым минеральным веществом. По состоянию на 2022 г., Mg – кофактор 800 ферментов, в том числе синтеза витамина D, мелатонина, активации пяти (B₂, B₃, B₆, B₉ и B₁₂) из 8 витаминов группы B, ферментов энергетического метаболизма, синтеза белков, нуклеиновых кислот. Магний обладает стабилизирующим действием на мембраны, необходим для поддержания гомеостаза кальция, калия и натрия, кальциевых ионных каналов, участвующих в проведении нервных импульсов и работе мышц (Fatima et al., 2024).

Магний содержится во многих пищевых продуктах. Основными источниками являются, семечки, орехи, зерновые, цельнозерновые продукты, бобовые, листовые овощи, на усвоение Mg влияют многие компоненты пищи. До 10% Mg поступает с питьевой водой (Громова и др., 2016а; Погожева, Коденцова, 2020; Погожева и др., 2022). Оптимальное суточное потребление Mg в зависимости от массы тела человека составляет 4–6 мг на 1 кг или 500 мг (Pethő et al., 2024). В России рекомендуемое суточное потребление Mg для взрослых составляет 420 мг.

По данным Росстата, фактическое потребление Mg населением не достигает рекомендуемой нормы примерно у 60% мужчин и 70% женщин (Коденцова, Жилинская, 2024).

Недостаточное потребление Mg с пищей связано с более высокими уровнями воспаления. У людей, которые потребляют примерно 300 мг Mg, уровень в сыворотке крови высокочувствительного С-реактивного белка (вч-СРБ) в среднем на 2,48% выше, а количество лейкоцитов на 0,075% выше, чем у лиц, потребляющих более 350 мг Mg (Alateeq et al., 2024). Гипомагниемия при ожирении может усиливать избыточную продукцию активных форм кислорода, митохондриальную дисфункцию и вызывать снижение продукции АТФ, нарушать регуляцию внутриклеточной концентрации кальция, углеводный обмен, вызывать активацию ренин-ангиотензин-альдостероновой системы (Cazzola et al., 2024). Недостаток Mg не только связан с сердечно-сосудистыми заболеваниями (ССЗ), но и прогнозирует снижение функции почек (Panta, Regmi, 2024).

Исследование связи между поступлением Mg с рационом у 7244 лиц молодого возраста (20–34 года) показало, что высокое суточное потребление Mg (≥ 341 мг) обратно связано с уровнем холестерина в сыворотке крови, не связанным с липопротеинами высокой плотности (не-ЛПВП-Х). У лиц с низким потреблением Mg (≤ 224 мг) статистически значимо (OR = 0,65; 95% CI, 0,46–0,91) выше уровень не-ЛПВП-Х (Song et al., 2024).

Рацион подростков с метаболическим синдромом и кардиометаболическими факторами риска с высокой приверженностью соблюдения DASH диеты (Dietary Approaches to Stop Hypertension для прекращения гипертонии), оцениваемой в баллах, отличался значительно более высоким потреблением калия, Mg, а также витаминов С и К и более низким потреблением натрия по сравнению с рационом подростков с низким баллом соблюдения DASH ($p < 0,05$) (Behrooz et al., 2025).

У пациентов с ревматоидным артритом, получавшим противовоспалительную диету с более высоким содержанием потенциальных противовоспалительных компонентов, потребление магния было выше, чем в группе, употреблявших провоспалительный рацион, и составило $304,9 \pm 109$ мг/сут против $190,4 \pm 51$ мг/сут (Baugin et al., 2024).

Потребление Mg имеет дозозависимую обратную связь с СД2 и инсультом. Высокое по-

требление Mg снижает риск СД2 на 22%, инсульта – на 11%. Снижение на 2% происходит при увеличении суточного потребления Mg на каждые 100 мг (Zhao et al., 2020).

Анализ данных когортного исследования пищевого рациона лиц с СД2 ($n=2045$) выявил отрицательную корреляцию между показателями воспаления и потреблением, фруктов, овощей, бобовых, рыбы, морепродуктов, молочных продуктов, а также Mg, пищевых волокон и витаминов А, С, D и E ($p < 0,05$) (Rahimlou et al., 2024). Диетическая антиоксидантная емкость диеты 254 лиц с СД2, рассчитанная как сумма FRAP (окислительно-восстановительная способность восстанавливать трехвалентное железо до двухвалентного железа) для каждого пищевого продукта, с использованием таблицы содержания антиоксидантов в пищевых продуктах, положительно ассоциировалась с потреблением Mg, витаминов А, С, β -каротина и железа (El Frakchi et al., 2024).

При обследовании 38273 лиц установлено, что более высокое потребление Mg, кальция, фосфора, калия, железа, цинка, меди и марганца ассоциируется с более низкими уровнями в крови индикатора развития ССЗ – гомоцистеина, причем каждый микронутриент вносил свой вклад в синергический эффект (Fan et al., 2024).

ГИПОМАГНИЕМИЯ

Гипомагниемия диагностируется при концентрации Mg в сыворотке крови $< 0,7$ ммоль/л. Недавно для надежной диагностики гипомагниемии предложено в качестве нижнего референсного значения принять содержание Mg в сыворотке крови 0,85 ммоль/л (2,07 мг/дл; 1,7 мэкв/л) (Rosanoff et al., 2022). Гипомагниемия может вызывать широкий спектр расстройств, вплоть до неврологических последствий. Одной из причин гипомагниемии является недостаточное содержание этого элемента в пище. Гипомагниемия может быть обусловлена желудочно-кишечными расстройствами, включая хроническую диарею, синдромы мальабсорбции (целиакия, воспалительные заболевания кишечника), хроническим панкреатитом. Гипомагниемии могут вызывать заболевания почек, включая канальцевую дисфункцию, диабетическую нефропатию (приводящую к повышенной потере Mg с мочой), а также применение некоторых лекарственных препаратов: диуретиков, ингибиторов протонной помпы и некоторых антибиотиков. К гипомагниемии могут приводить злоупотребление алко-

лем, тяжёлые ожоги, хронический стресс, гиперальдостеронизм (Громова и др., 2016b). Гипомагниемия может быть причиной таких симптомов, как мышечная слабость, повышенная утомляемость, усталость, раздражительность, непроизвольные сокращения мышц, нарушения сердечного ритма и др. Гипомагниемия часто наблюдается при многих заболеваниях мышц, способствует патогенезу поражения скелетных мышц.

Обследование 2433 пациентов показало, что концентрация Mg в плазме крови ниже 0,80 ммоль/л ассоциирована со статистически значимым повышением риска многочисленных нарушений, в том числе – судорог, пароксизмальной тахикардии, пролапса митрального клапана, нестабильной стенокардии, эссенциальной гипертензии, избыточного веса, ожирения, СД2 с осложнениями, ишемического инсульта (Gadiparthi et al., 2024).

У детей в возрасте от 5 до 16 лет с избыточной массой тела/ожирением наблюдался более низкий уровень Mg в сыворотке крови (1,03 мЭкв/л против 1,85 мЭкв/л, $p < 0,001$), а также более высокие уровни инсулина натощак, инсулинорезистентности (НОМА-IR) и атерогенных липидов по сравнению с показателями детей того же возраста из контрольной группы (Gao et al., 2024). При исследовании методом менделевской рандомизации причинно-следственных связей между ожирением и циркулирующими уровнями микронутриентов было установлено, что высокий индекс массы тела (ИМТ) и высокое отношение талии к бедрам ассоциируется со сниженным уровнем в сыворотке крови Mg и ряда других микронутриентов (Xu et al., 2024). При обследовании 8010 лиц с СД2 показано, что распространенность ожирения имеет значимую отрицательную связь с уровнем Mg в сыворотке крови, при этом уровень вч-СРБ опосредует влияние Mg на развитие ожирения, то есть влияние Mg на массу тела может быть объяснено его противовоспалительными свойствами (Ahmed et al., 2024).

Поддержание нормальной чувствительности к инсулину невозможно без адекватной концентрации Mg в сыворотке крови и внутри клеток. Уровень Mg в сыворотке крови при СД2 снижен по сравнению с показателем здоровых лиц (Pitliya et al., 2024) и встречается примерно у 32% (Dong et al., 2025). В многофакторном анализе результатов обследования 11934 пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС) уровень Mg в сыворотке крови был отрицательно связан с

уровнем гликированного гемоглобина (HbA1c) (Kumar et al., 2024). Частота диабетической ретинопатии, нейропатии и нефропатии выше у пациентов СД2 с гипомагниемией, чем у пациентов с нормальным уровнем Mg (Ram et al., 2024).

Концентрация Mg в сыворотке крови у пациентов с СД2 ($1,34 \pm 0,29$ мг/дл) была значимо ниже, чем у здоровых ($2,17 \pm 1,87$) (Jiang et al., 2025). Пациенты с СД2 старше 40 лет с низким содержанием Mg в сыворотке крови ($< 1,5$ мг/дл) имели статистически значимо более высокий уровень глюкозы в крови натощак, постпрандиальной глюкозы, HbA1c, инсулина, индекса инсулинорезистентности (НОМА-IR). У пациентов с СД2 уровень Mg в сыворотке крови отрицательно коррелировал с НОМА-IR, HbA1c (Gao et al., 2024; Jiang et al., 2025). Наблюдение в течение 27 месяцев показало, что по сравнению с группой пациентов с СД2 и сердечной недостаточностью в группе лиц с концентрацией Mg $\leq 0,8$ ммоль/л, риск сердечно-сосудистой смерти или повторной госпитализации вследствие сердечной недостаточности увеличен в 22 раза по сравнению с лицами, имеющими уровень Mg в сыворотке крови, превышающий 0,9 ммоль/л (Manik et al., 2024).

Уровни Mg и цинка в сыворотке крови у пациентов с метаболическим синдромом ($n=100$) были значительно ниже ($p < 0,001$), чем в контрольной группе ($n=100$). Активность липопротеин-ассоциированной фосфолипазы (A2Lp-PLA2) – биомаркера риска ССЗ наблюдалась выше в группе с метаболическим синдромом и имела обратную корреляцию с уровнями Mg ($r = -0,35$, $p < 0,001$) (Sato et al., 2025). На основании этого предположили, что Lp-PLA2 является промежуточным этапом между низким уровнем Mg и сердечно-сосудистым риском, а оптимальный уровень Mg может предотвращать ССЗ за счет снижения активности Lp-PLA2. Гипомагниемия выявляется у 7–52% пациентов с сердечной недостаточностью (Petrakis et al., 2024).

Гипомагниемия связана с повышенной общей смертностью у пациентов на диализе. У 117 пациентов с хронической болезнью почек на диализе, в разной степени соблюдавших средиземноморскую диету, характеризующуюся высоким содержанием Mg, имевших уровень Mg в сыворотке крови выше 2,2 мг/дл, в течение 68 месяцев наблюдения было отмечено снижение на 66% сердечно-сосудистой смертности и на 49% – смертности от всех причин, даже после поправки

на возраст, индекс массы левого желудочка, заболевание периферических сосудов и диабет (Agnihotri et al., 2024).

Гипомагниемия, состояние системного воспаления, гиперкортизолемию наблюдается при депрессивных расстройствах (Li et al., 2024). У лиц с депрессией корреляция Пирсона между баллом шкалы оценки депрессии Гамильтона и кортизолом в сыворотке крови была статистически значимой положительной ($r = 0,55, p < 0,01$), тогда как с уровнем Mg – отрицательной ($r = -0,82, p < 0,01$) (Li et al., 2024).

Обследование 12024 лиц, для которых с целью оценки магниевого статуса был рассчитан индекс истощения (дефицита) Mg – MDS, учитывающий использование диуретиков, ингибиторов протонной помпы, функцию почек и потребление алкоголя, показало, что более высокий MDS, равный 3, связан с повышенным риском неалкогольной жировой болезни печени (OR = 2,00, 95% ДИ [1,47, 2,74] для MDS 3 против 0) (Feugin et al., 2025). По другим данным, включавшим обследование 3377 лиц, дефицит Mg связан с неалкогольной жировой болезнью почек (НАЖБП) (Pelczyńska et al., 2022).

Дефицит Mg ассоциируется с сердечно-сосудистыми заболеваниями (аритмия, преэклампсия, сердечная недостаточность), неврологически-

ми заболеваниями (головная боль, судороги, инсульт), заболеваниями органов дыхания (бронхиальная астма, хроническая обструктивная болезнь легких), депрессия, НАЖБП (Погожева и др., 2022). Гипомагниемия связана с патогенезом таких метаболических нарушений, как ожирение, гипертония, диабет, дислипидемия и вялотекущие воспалительные процессы (Drenthen et al., 2024).

ВЛИЯНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРИЕМА МАГНИЯ НА ТЕЧЕНИЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Хроническое субклиническое воспаление и процессы окислительного стресса тесно взаимосвязаны при ХНИЗ, диетические воздействия на один из компонентов патологического процесса неизбежно затрагивает другой.

База данных, посвященная использованию перорального приема Mg для улучшения метаболизма при различных заболеваниях, постоянно увеличивается. В табл. 1 суммированы данные дополнительного приема Mg за последние годы.

Прием в течение 6 недель пациентами с СД2 с низким уровнем Mg в сыворотке крови ($0,73 \pm 0,05$ ммоль/л Mg в форме глюконата, по 50 мл 3 раза в день) в суточной дозе 15 ммоль (360 мг) привел к значительному увеличению уровня Mg в сыворотке крови (Veronese et al., 2021).

Таблица 1. Клиническая эффективность приема магния пациентами с хроническими неинфекционными заболеваниями

Пациенты	Дозы (% от РНП)	Срок	Эффект
СД2	360 мг в форме глюконата (86%)	6 нед.	Концентрация Mg в сыворотке крови ↑, Т-клетки =, CD ⁴⁺ =, CD ⁸ = (Veronese et al., 2021)
СД2 (метаанализ)	250–600 мг (в форме оксида, аспартата, лактата, хлорида, цитрата или хелата) (60–143%)	4–48 нед.	Глюкоза натощак ↓, индекс НОМА-IR ↓, уровень глюкозы через 2 часа после нагрузки ↓ (Veronese et al., 2022)
СД2, ожирение, избыточный вес (метаанализ)	250–500 мг (в форме оксида, цитрата или хелата) (60–119%)	12 (4–26) нед.	СРБ ↓, NO ↑, СРБ ↓, фибриноген ↓ (Macian et al., 2022)
Хроническая обструктивная болезнь легких	300 мг в форме цитрата (71%)	6 мес.	СРБ ↓, функция лёгких =, физическая работоспособность =, качество жизни = (Veronese et al., 2021)
Фибромиалгия	100 мг (в форме хлорида) (24%)	1 мес.	Показатели стресса ↓, интенсивность боли ↓ (Askari et al., 2021)
Избыточная масса тела	48–450 мг (11–107%)	6–24 нед.	ИМТ ↓ (Zanforlini et al., 2022)

Примечание: РНП – рекомендуемая норма потребления; ↓ – уменьшение; ↑ – увеличение; = – изменения отсутствуют; ИМТ – индекс масса тела; HbA1c – гликированный гемоглобин; СРБ – С-реактивный белок; NO – оксид азота.

Прием в течение 6 месяцев пациентами с хронической обструктивной болезнью легких по 300 мг цитрата Mg в день ($n = 25$) хотя и не оказало существенного влияния на функцию лёгких, физическую работоспособность и качество жизни пациентов, но привело к снижению уровня СРБ (Коденцова и др., 2023).

По результатам рандомизированного контролируемого двойного слепого исследования, прием в течение 1 мес. пациентами с фибромиалгией (синдром, характеризующийся хронической распространенной болью, усталостью, нарушениями сна и различными функциональными симптомами без четких структурных или патологических причин) по 100 мг/сут Mg (в форме хлорида) сопровождался снижением уровня стресса в подгруппе пациентов с лёгкой/умеренной степенью тяжести заболевания и уменьшением интенсивности боли по сравнению с пациентами, получавшими плацебо (Askari et al., 2021).

Метаанализ 13 исследований с участием пациентов с диабетом и 12 наблюдений с участием пациентов с высоким риском диабета, показал, что прием Mg в дозе 250–600 мг (в форме оксида, аспартата, лактата, хлорида, цитрата, хелата) в течение 4–48 недель (медиана 12 недель) пациентами с диабетом и пациентами с высоким риском развития диабета в течение 4–24 недель (медиана 14 недель) приводил к значительному снижению уровня глюкозы натощак, индекса НОМА-IR, уровня глюкозы через 2 ч после нагрузки углеводом по сравнению с лицами из контрольной группы (Veronese et al., 2021).

По результатам метаанализа 17 рандомизированных контролируемых исследований (889 участников с ожирением, избыточной массой тела или СД2; средний возраст 46 лет; 62,5% женщин), прием в течение 4–26 недель магния в дозе 250–500 мг в разных формах (оксид, цитрат или хелат) значительно снижал в сыворотке крови уровни СРБ, а также фибриногена в плазме крови, тартрат-устойчивой кислой фосфатазы 5-го типа, члена суперсемейства лигандов фактора некроза опухоли 13В, белка ST2 и интерлейкина-1 (Macian et al., 2022). Кроме того в двух исследованиях прием пациентами с осложненным СД2 по 250 мг Mg (в форме оксида) в течение 12–24 недель повышал уровень оксида азота (NO) в сыворотке крови, что может иметь потенциальное клиническое значение для предотвращения сердечно-сосудистых осложнений (Macian et al., 2022).

Метаанализ 32 рандомизированных клинических исследований с участием 2551 взрослого при использовании разных доз Mg (48–450 мг/сут) и разной продолжительности применения (6–24 недели) показал, что прием Mg сопровождается снижением ИМТ (средневзвешенная разница: $-0,21$ кг/м², 95% ДИ: $-0,41$, $-0,001$, $p = 0,048$, $I^2 = 89,5\%$, $n = 22$), особенно выраженным у лиц с исходным дефицитом этого элемента (Zanforlini et al., 2022).

Таким образом, достаточно длительный дополнительный прием Mg в разных формах и дозах, соразмерных с физиологической потребностью, не превышающих верхний допустимый уровень потребления в составе БАД к пище, приводит к повышению уровня Mg в сыворотке крови, оказывает определенный клинический эффект и может быть рекомендован для применения в составе комплексной диетотерапии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обеспечение адекватного потребления Mg необходимо для предотвращения осложнений, связанных с его дефицитом, и снижения риска развития хронических заболеваний. Для удовлетворения потребности организма в Mg и повышения его поступления с пищей, в первую очередь рекомендуется увеличить потребление пищевых продуктов, богатых этим микронутриентом. Предпочтение следует отдавать диетам с высоким содержанием компонентов, обладающих противовоспалительными свойствами. Полноценное питание подразумевает включение большого количества овощей, фруктов, цельнозерновых продуктов, орехов, бобовых, рыбы, масел, богатых мононенасыщенными жирами, и клетчатки, а также содержит меньше жирного красного мяса и рафинированных злаков. Кроме того, в здоровом питании минимизируется использование добавленных простых сахаров, обработанных продуктов, трансжиров и насыщенных жиров. Именно в таком рационе содержание Mg выше.

Эффективность Mg подтверждена в составе противовоспалительных и гипокалорийных диет, при этом усиление терапевтического потенциала наблюдается при его совместном использовании с другими витаминами и минеральными веществами, множественный дефицит которых обнаруживается в питании лиц с ХНИЗ (Коденцова и др., 2023; Шарифов, 2023; Полковникова, 2024).

Прием в течение 90 суток лицами с предиабетом и СД2 добавок биологически активных веществ 400 мг Mg в форме бисглицината, витамина D, α -липовой кислоты, пиколината хрома (400 мкг), берберины (по 500 мг дважды в день), повышение физической активности (силовые тренировки, медитация, упражнения на глубокое дыхание) на фоне функционального питания iTHRIVE с исключением определенных провоспалительных продуктов привел к снижению уровня гликированного гемоглобина HbA1c (на 13,75%, $p < 0,0001$); глюкозы (на 14,51%, $p < 0,048$) и инсулина (на 34,31%, $p < 0,017$) после приема пищи, СОЭ (на 34,51%, $p < 0,006$), вч-СРБ на 6,6% (Pradhan et al., 2024). Диетические вмешательства, в том числе с помощью витаминно-минеральных комплексов, содержащих Mg, могут стать важной стратегией для снижения распространенности и лечения ХНИЗ, в том числе СД2.

Прием в течение трех недель пациентами с СД2 и ожирением на фоне гипокалорийной диеты (1600 ккал) многокомпонентного витаминно-минерального комплекса, обеспечивающего дополнительное поступление Mg ($\approx 20\%$ РНП) и калия ($\approx 10\%$ РНП) в виде аспарагината, цинка (100% РНП) и хрома (400% РНП), витаминов С и Е (100–120% от РНП), β -каротина и никотинамида ($\approx 40\%$ РНП), пантотеновой кислоты и биотина

(60% РНП), витаминов B₁₂, B₂ и фолиевой кислоты (75–83% РНП), витаминов B₁ и B₆ (160–300% РНП), не только предотвратил снижение в сыворотке крови концентрации витамина С, магния, цинка и фосфора, но и привел к статистически значимому увеличению концентрации в сыворотке крови витаминов С, 25-гидроксивитамина D, витаминов B₆, B₁₂, фолатов, калия, Mg, кальция, цинка (Лапик и др., 2014).

Обогащение рациона Mg является немедикаментозной, экономичной и безопасной профилактикой хронического дефицита и ассоциированных с ним нарушений обмена веществ (Погожева и др., 2022).

ВЫВОДЫ

Достаточное потребление магния с пищей положительно влияет на снижение риска метаболических нарушений. Развитие многих патологических процессов можно предотвратить или замедлить, восполняя недостаточное потребление магния. Дополнительный прием оказывает плейотропное метаболическое действие. Доказана целесообразность компенсации дефицита Mg в питании как в профилактических целях у здорового человека, так и как часть диетотерапии при ХНИЗ. Эффект дополнительного приема Mg имеет более выраженный характер при гипомagneмии.

ЛИТЕРАТУРА

- Громова О.А., Торшин И.Ю., Коденцова В.М. Пищевые продукты: содержание и усвоение магния. *Терапия* 2016а; 5(9): 48–57.
- Громова О.А., Трошин И.Ю., Назаренко А.Г., Калачева А.Г. Дефицит магния и пиридоксина, как фактор риска развития ишемической болезни сердца. *Кардиология*. 2016b; 10: 55–62. DOI: 10.18565/cardio. 2016.10.55-62.
- Драпкина О.М., Концевая А.В., Калинина А.М., Авдеев С. Н., Агальцов М.В., Александрова Л.М. и др. Профилактика хронических неинфекционных заболеваний в Российской Федерации. Национальное руководство 2022. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2022; 21(4): 3235. DOI:10.15829/1728-8800-2022-3235. EDN DNBVAT.
- Коденцова В. М., Жилинская Н.В. Проблемы обеспеченности детского и взрослого населения России микронутриентами. В кн. *Эпидемиология питания: Россия 2018–2023*. Под ред. В.А.Тутельяна и Д.Б. Никитюка. М.: ТД ДелЛи, 2024. С. 96–112.
- Коденцова В.М., Рисник Д.В., Шарафетдинов Х.Х. Витаминно-минеральные комплексы и биологически активные вещества в диетотерапии пациентов сахарным диабетом 2 типа. *Микроэлементы в медицине*. 2023; 24(2): 12–24. DOI: 10.19112/2413-6174-2023-24-12-24.
- Лапик И.А., Сокольников А.А., Шарафетдинов Х.Х., Сенцова Т.Б., Плотникова О.А. Оценка эффективности диетотерапии с включением витаминно-минерального комплекса у больных сахарным диабетом типа 2. *Вопросы питания*. 2014; 83(3): 74–81.
- Погожева А.В., Коденцова В.М. О рекомендуемом потреблении и обеспеченности населения калием и магнием. *РМЖ. Кардиология*. 2020; 3: 8–12.
- Погожева А.В., Коденцова В.М., Шарафетдинов Х.Х. Роль магния и калия в профилактическом и лечебном питании. *Вопросы питания*. 2022; 91(5): 29–42. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-5-29-42>.
- Полковникова М.С. Оценка микронутриентного статуса у больных артериальной гипертензией, проживающих в Тюменской области. *Вопросы диетологии*. 2024; 14(4): 53–58. DOI: 10.20953/2224-5448-2024-4-53-58.
- Сасунова А.Н., Гончаров А.А., Пилипенко В.И., Исаков В.А. Оценка потребления минералов пациентами с неалкогольной жировой болезнью печени. *Вопросы диетологии*. 2024; 14(3): 5–14. DOI: 10.20953/2224-5448-2024-3-5-14.
- Стародубова А.В., Чазова И.Е., Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Павловская Е.В., Кисляк О.А. и др. Евразийские клинические рекомендации по питанию при сердечно-сосудистых заболеваниях. *Евразийский кардиологический журнал*. 2024; 4: 6–66; <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2024-4-6-66>.
- Шарифов М.И. Анализ поступления биоэлементов с пищей у жителей г. Ханты-Мансийска, страдающих артериальной гипертензией. *Вопросы диетологии*. 2023; 13(3): 9–14. DOI: 10.20953/2224-5448-2023-3-9-14.
- Agnihotri S., Daripelly S., Cherla S.K., Jopaka A.K., Molanguri U. Association of Biomarkers with the Severity of Depression. *Indian J Psychol Med*. 2024 Sep; 7: 02537176241264609. DOI: 10.1177/02537176241264609.

- Ahmed A.M., Alsubhi A.S., Shawosh T.S., Almntashiri M., Alebire A.K., Mohammadi F.F., Aman A.M. Effects of Smoking and Non-Insulin-Dependent Diabetes Mellitus on Blood Trace Element Levels. *Cureus*. 2024 Oct 29; 16(10): e72618. DOI: 10.7759/cureus.72618.
- Alateeq K., Walsh E.I., Ambikairajah A., Cherbuin N. Association between dietary magnesium intake, inflammation, and neurodegeneration. *Eur J Nutr*. 2024 Aug; 63(5): 1807–1818. DOI: 10.1007/s00394-024-03383-1.
- Askari M., Mozaffari H., Jafari A., Ghanbari M., Darooghegi Mofrad M. The Effects of Magnesium Supplementation on Obesity Measures in Adults: A Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*. 2021; 61: 2921–2937. DOI: 10.1080/10408398.2020.1790498.
- Baygin H., Siriken F., Sargin G., Çıldag S., Ozturk H., Senturk T. The relationship between dietary inflammatory index scores and rheumatoid arthritis disease activity. *Reumatol Clin (Engl Ed)*. 2024 Jun-Jul; 20(6): 305–311. DOI: 10.1016/j.reumaec.2024.07.001.
- Behrooz M., Ostadrahimi A., Hajjarzadeh S., Mousavi M., Behbahani A.G., Shiva S. The association of dietary approaches to stop hypertension measured by the food frequency questionnaire with metabolic syndrome and some inflammatory biomarkers in adolescents with obesity: a case-control study. *J Health Popul Nutr*. 2025 Jan 18; 44(1): 12. DOI: 10.1186/s41043-025-00744-2.
- Cazzola R, Della Porta M, Piuri G, Maier JA. Magnesium: A Defense Line to Mitigate Inflammation and Oxidative Stress in Adipose Tissue. *Antioxidants (Basel)*. 2024 Jul 24;13(8):893. doi: 10.3390/antiox13080893.
- Chen R., Zou J., Chen J., Wang L., Kang R., Tang D. Immune aging and infectious diseases. *Chin Med J (Engl)*. 2024 Dec 20; 137(24): 3010–3049. DOI: 10.1097/CM9.0000000000003410.
- Dong H., Lu N., Wang J., Hu P. Serum magnesium, not calcium, is inversely associated with abnormal HbA1c concentrations in adults with coronary artery disease. *Asia Pac J Clin Nutr*. 2025 Feb; 34(1): 104–111. DOI: 10.6133/apjcn.202502_34(1).0010.
- Drenthen L.C.A., Ajie M., de Baaij J.H., Tack C.J., de Galan B.E., Stienstra R. Magnesium Supplementation Modulates T-cell Function in People with Type 2 Diabetes and Low Serum Magnesium Levels. *J Clin Endocrinol Metab*. 2024 Nov 18; 109(12): e2240–e2245. DOI: 10.1210/clinem/dgae097.
- El Frakchi N., El Kinany K., El Baldi M., Saoud Y., El Rhazi K. Association of dietary total antioxidant capacity with general and abdominal obesity in type 2 diabetes mellitus patients. *PLoS One*. 2024 Jun 26; 19(6): e0306038. DOI: 10.1371/journal.pone.0306038.
- Fan J., Liu S., Wei L., Zhao Q., Zhao G., Dong R., Chen B. Relationships between minerals' intake and blood homocysteine levels based on three machine learning methods: a large cross-sectional study. *Nutr Diabetes*. 2024 Jun 1; 14(1): 36. DOI: 10.1038/s41387-024-00293-3.
- Fatima G., Dzipuna A., B Alhmadi H., Magomedova A., Siddiqui Z., Mehdi A., Hadi N. Magnesium Matters: A Comprehensive Review of Its Vital Role in Health and Diseases. *Cureus*. 2024 Oct 13; 16(10): e71392. DOI: 10.7759/cureus.71392.
- Feygin M.S., Brenner A., Tanweer O. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2025 Feb; 34(2): 108188. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2024.108188.
- Gadiparthi S., Kalyanshettar S., Patil M., Patil S.V. Role of Serum Magnesium on Insulin Resistance in Overweight and Obese Children. *Cureus*. 2024 Sep 17; 16(9): e69622. DOI: 10.7759/cureus.69622.
- Gao G., Ou R., Chen W. Obesity influencing circulating levels of nutrients: Evidence from Mendelian randomization study. *Medicine (Baltimore)*. 2024 Sep 13; 103(37): e39594. DOI: 10.1097/MD.00000000000039594.
- Jiang Y., Zhang J., Jiang Z., Liu X., Wang L. The prognostic value of serum Mg²⁺ concentration in patients with heart failure and type 2 diabetes mellitus: a retrospective cohort study. *Endocrine*. 2025 Aug; 89(2): 439–447. DOI: 10.1007/s12020-025-04282-z.
- Kumar S.R., Kumar K.G.S., Gayathri R. Hypomagnesemia in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *J Assoc Physicians India*. 2024 Jul; 72(7): 25–28. DOI: 10.59556/japi.72.0410. PMID: 38990583.
- Li F., Li Y., Wang Y., Chen X., Liu X., Cui J. Association between magnesium depletion score and the risk of metabolic dysfunction associated steatotic liver disease: a cross sectional study. *Sci Rep*. 2024 Oct 19; 14(1): 24627. DOI: 10.1038/s41598-024-75274-8.
- Macian N., Dualé C., Voute M., Leray V., Courrent M., Bodé P., Giron F., Sonnevile S., Bernard L., Joanny F., Menard K., Ducheix G., Pereira B., Pickering G. Short-term magnesium therapy alleviates moderate stress in patients with fibromyalgia: a randomized double-blind clinical trial. *Nutrients*. 2022; 14(10): 2088; <https://doi.org/10.3390/nu14102088>.
- Manik K.A., Joice P.P.S., Jagadal I.A., T K J, Samundeeswari V., Madompoyl B., Pinjar M.J. The Role of Lp-PLA2 as a Mediator Between Serum Magnesium and Zinc Levels and Cardiovascular Risk in Patients With Metabolic Syndrome. *Cureus*. 2024 Oct 22; 16(10): e72107. DOI: 10.7759/cureus.72107.
- Panta R., Regmi S. Role of Magnesium, Effects of Hypomagnesemia, and Benefits of Magnesium Supplements in Cardiovascular and Chronic Kidney Diseases. *Cureus*. 2024 Jul 12; 16(7): e64404. DOI: 10.7759/cureus.64404.
- Pelczyńska M., Moszak M., Bogdański P. The Role of Magnesium in the Pathogenesis of Metabolic Disorders. *Nutrients*. 2022 Apr 20; 14(9): 1714. DOI: 10.3390/nu14091714.
- Pethő Á.G., Fülöp T., Orosz P., Tapolyai M. Magnesium Is a Vital Ion in the Body-It Is Time to Consider Its Supplementation on a Routine Basis. *Clin Pract*. 2024 Mar 22; 14(2): 521–535. DOI: 10.3390/clinpract14020040.
- Petrakis I., Bacharaki D., Kyriazis P., Balafa O., Dounousi E., Tspirpanlis G., et al. Cardiovascular and All-Cause Mortality Is Affected by Serum Magnesium and Diet Pattern in a Cohort of Dialysis Patients. *J Clin Med*. 2024 Jul 10; 13(14): 4024. DOI: 10.3390/jcm13144024.
- Pitliya A., Vasudevan S.S., Batra V., Patel M.B., Desai A., Nethagani S., Pitliya A. Global prevalence of hypomagnesemia in type 2 diabetes mellitus – a comprehensive systematic review and meta-analysis of observational studies. *Endocrine*. 2024 Jun; 84(3): 842–851. DOI: 10.1007/s12020-023-03670-7.
- Pradhan M., Hedao R., Joseph A., Jain R. Charting Wellness in India: Piloting the iTHRIVE's Functional Nutrition Approach to Improve Glycaemic and Inflammatory Parameters in Prediabetes and Type 2 Diabetes Mellitus. *Cureus*. 2024 Jul 3; 16(7): e63744. DOI: 10.7759/cureus.63744.
- Rahimlou M., Ahmadi A.R., Cheraghian B., Baghdadi G., Ghalishourani S.S., Nozarian S., Hashemi S.J., Rahimi Z., Jahromi N.B., Hosseini S.A. The association between dietary inflammatory index with some cardio-metabolic risk indices among the patients with type 2 diabetes from Hoveyze cohort study: a cross-sectional study. *BMC Endocr Disord*. 2024 Jun 19; 24(1): 91. DOI:

10.1186/s12902-024-01624-2.

Ram V.S., Vishnoi A., Sharma M., Jaison A., Singh N. Unveiling the Role of Magnesium: Insights into Insulin Resistance and Glycemic Control in Type 2 Diabetes. *EJIFCC*. 2024; 35(3): 189–194.

Rosanoff A., West C., Elin R.J., Micke O., Baniyadi S., Barbagallo M., et al. MaGNet Global Magnesium Project (MaGNet). Recommendation on an updated standardization of serum magnesium reference ranges. *Eur J Nutr*. 2022 Oct; 61(7): 3697–3706. DOI: 10.1007/s00394-022-02916-w.

Sato R., Koziolok M.J., von Haehling S. Translating evidence into practice: Managing electrolyte imbalances and iron deficiency in heart failure. *Eur J Intern Med*. 2025 Jan; 131: 15–26. DOI: 10.1016/j.ejim.2024.10.024.

Song Q., Song L., Liu H., Tan H., Yang B., Fan C., Liu L. Association of magnesium intake with predicted atherosclerotic lesions and cardiovascular risk in young adults based on PDAY score: a cross-sectional study. *BMC Public Health*. 2024 Nov 20; 24(1): 3232. DOI: 10.1186/s12889-024-20785-2.

Veronese N., Pizzol D., Smith L., Dominguez L.J., Barbagallo M. Effect of Magnesium Supplementation on Inflammatory Parameters: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients*. 2022 Feb 5; 14(3): 679. DOI: 10.3390/nu14030679.

Veronese N., Dominguez L.J., Pizzol D., Demurtas J., Smith L., Barbagallo M. Oral Magnesium Supplementation for Treating Glucose Metabolism Parameters in People with or at Risk of Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis of Double-Blind Randomized Controlled Trials. *Nutrients*, 2021; 13(11): 4074. DOI: 10.3390/nu13114074.

Xu M.R., Wang A.P., Wang Y.J., Lu J.X., Shen L., Li L.X. Serum Magnesium Levels Are Negatively Associated with Obesity and Abdominal Obesity in Type 2 Diabetes Mellitus: A Real-World Study. *Diabetes Metab J*. 2024 Nov; 48(6): 1147–1159. DOI: 10.4093/dmj.2023.0401.

Zanforlini B.M., Ceolin C., Trevisan C., Alessi A., Seccia D.M., Noale M., et al. Clinical trial on the effects of oral magnesium supplementation in stable-phase COPD patients. *Aging Clin. Exp. Res*. 2022; 34: 167–174. DOI: 10.1007/s40520-021-01921-z.

Zhao B., Zeng L., Zhao J., Wu Q., Dong Y., Zou F., Gan L., Wei Y., Zhang W. Association of magnesium intake with type 2 diabetes and total stroke: An updated systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*. 2020; 10: e032240. DOI: 10.1136/bmjopen-2019-032240.

Информация об авторах:

Хайдерь Хамзярович Шарафетдинов – д.м.н., зав. отделением болезней обмена веществ и диетотерапии
E-mail: sharafandr@mail.ru; ORCID: 0000-0001-6061-0095; SPIN: 8612-0792

Равиля Исмаиловна Алексеева – к.м.н., науч. сотрудник отделения болезней обмена веществ и диетотерапии
E-mail: ravial@mail.ru; ORCID: 0000-0003-4129-6971; SPIN: 7287-5800

Вера Митрофановна Коденцова – д.б.н., профессор, гл. науч. сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ
E-mail: kodentsova@ion.ru; ORCID: 0000-0002-5288-1132; SPIN: 8470-1211

Оксана Александровна Плотникова – к.м.н., ст. науч. сотрудник отделения болезней обмена веществ и диетотерапии
E-mail: plot_oks@mail.ru; ORCID: 0000-0001-8232-8437; SPIN: 1789-0636

Виктория Владимировна Пилипенко – к.м.н., науч. сотрудник отделения болезней обмена веществ и диетотерапии
E-mail: kushonok9@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0628-0854; SPIN: 4388-9613

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Поисково-аналитическая работа по подготовке рукописи проведена в рамках темы госзадания FGMF-2025-0003.

THE ROLE OF MAGNESIUM SUPPLY IN THE PREVENTION AND TREATMENT OF CHRONIC NON-INFECTIOUS DISEASES ASSOCIATED WITH CHRONIC INFLAMMATION

Kh.Kh. Sharafetdinov^{1,2,3}, R.I. Alekseeva¹, V.M. Kodentsova¹, O.A. Plotnikova¹, V.V. Pilipenko¹

¹ Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Ustiynsky pr., 2/14, Moscow, 109240, Russian Federation

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation,

³ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of Ministry of Healthcare of the Russian Federation (Sechenov University), Trubetskaya str. 8/2, Moscow, 119991, Russian Federation

ABSTRACT. Microelements play an important role in the pathogenesis of metabolic disorders in individuals with chronic non-communicable diseases (NCDs) associated with chronic inflammation.

The purpose of the review is to assess magnesium (Mg) intake and the incidence of hypomagnesemia among pa-

tients with NCDs, and to summarize the results of studies on the effect of additional Mg intake on the prevention and course of diseases.

Results. Insufficient dietary Mg intake is associated with higher levels of inflammation. On the one hand, hypomagnesemia can be a risk factor for many diseases associated with chronic inflammation (essential hypertension, overweight, obesity, complicated type 2 diabetes, ischemic stroke), on the other hand, hypomagnesemia can be caused by kidney diseases, including tubular dysfunction, diabetic nephropathy (leading to increased loss of Mg in the urine), as well as the use of certain drugs (diuretics, proton pump inhibitors, and some antibiotics). In type 2 diabetes, obesity, overweight, heart failure, and others, the level of Mg in the blood serum is reduced compared to that of healthy individuals, and deficiency is more common. With reduced Mg levels in obesity, impaired carbohydrate control is observed. In patients with T2DM with hypomagnesemia, the incidence of diabetic retinopathy, diabetic neuropathy, and diabetic nephropathy was higher than in patients with normal Mg levels. In patients with T2DM and heart failure, those with low serum Mg levels had an increased risk of death. A sufficiently long-term (6-12 weeks) additional intake of Mg in various forms (oxide, aspartate, lactate, chloride, citrate or chelate) in doses (250-600 mg) commensurate with the physiological need, not exceeding the upper permissible level of consumption in the composition of dietary supplements to food, leads to an increase in the concentration in the blood serum and has a certain clinical effect in patients with type 2 diabetes (reduction of fasting glucose, HOMA-IR index, postprandial glycemia) and obesity (reduction in BMI) and can be recommended for use in complex diet therapy

Conclusions. Sufficient dietary intake of Mg has a positive effect on reducing the risk of metabolic disorders. The development of many pathological processes can be prevented or slowed down by replenishing insufficient Mg intake. Additional intake of Mg as part of complex diet therapy has a pleiotropic metabolic effect. The advisability of compensating for Mg deficiency in nutrition has been proven both for preventive purposes in healthy people and as part of diet therapy for chronic non-communicable diseases.

KEYWORDS: magnesium, chronic non-communicable diseases, type 2 diabetes mellitus, inflammation, obesity.

For citation: Sharafetdinov Kh.Kh., Alekseeva R.I., Kodentsova V.M., Plotnikova O.A., Pilipenko V.V. The role of magnesium supply in the prevention and treatment of chronic non-infectious diseases associated with chronic inflammation. Trace elements in medicine. 2025;26(4):3–14. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-4-3-10

REFERENCES

- Gromova O.A., Torshin I.Yu., Kodentsova V.M. Food products: magnesium content and assimilation. *Therapy*. 2016; 5(9): 48–57 (In Russian).
- Gromova O.A., Troshin I.Y., Nazarenko A.G., Kalacheva A.G. Magnesium and pyridoxine deficiency as a risk factor for coronary heart disease. *Kardiologiya*. 2016; 10: 55–62 (In Russian).
- Drapkina O.M., Kontsevaya A.V., Kalinina A.M., Avdeev S.N., Agaltsov M.V., Alexandrova L.M., et al. Prevention of chronic non-communicable diseases in the Russian Federation. National guidelines. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2022; 21(4): 3235. (In Russian). DOI: 10.15829/1728-8800-2022-3235. EDN DNBVAT (In Russian).
- Kodentsova V.M., Zhilinskaya N.V. Problems of provision of children and adults of Russia with micronutrients. In the book. *Epidemiology of nutrition: Russia 2018-2023*. Edited by V. A. Tutelyan and D. B. Nikityuk. M.: TD DeLi, 2024. P. 96–112 (In Russian).
- Kodentsova V.M., Risnik D.V., Sharafetdinov Kh. Kh. Vitamin-mineral supplements and biologically active substances in the diet of patients with type 2 diabetes mellitus. *Trace elements in medicine*. 2023; 24(2): 12–24. DOI: 10.19112/2413-6174-2023-24-2-12-24 (In Russian).
- Lapik I.A., Sokolnikov A.A., Sharafetdinov Kh.Kh., Sentsova T.B., Plotnikova O.A. Assessment of efficiency of dietotherapy with addition of a vitamin-mineral complex in patients with diabetes mellitus type 2. *Вопросы питания*. 2014; 83(3): 74–81.
- Pogozheva A.V., Kodentsova V.M. About recommended consumption and provision of population with potassium and magnesium. *RMJ*. 2020; 3: 8–12. (In Russian).
- Pogozheva A.V., Kodentsova V.M., Sharafetdinov Kh.Kh. The role of magnesium and potassium in preventive and therapeutic nutrition. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2022; 91(5): 29–42. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-5-29-42> (in Russian).
- Polkovnikova M.S. Assessment of micronutrient status in patients with arterial hypertension living in the Tyumen region. *Vopr. dietol. (Nutrition)*. 2024; 14(4): 53–58. (In Russian). DOI: 10.20953/2224-5448-2024-4-53-58.
- Sasunova A.N., Goncharov A.A., Pilipenko V.I., Isakov V.A. Assessment of mineral intake in patients with non-alcoholic fatty liver disease. *Vopr. dietol. (Nutrition)*. 2024; 14(3): 5–14. (In Russian). DOI: 10.20953/2224-5448-2024-3-5-14.
- Starodubova A.V., Chazova I.E., Tutelyan V.A., Nikityuk D.B., Pavlovskaya E.V., Kislyak O.A., et al. Eurasian clinical guidelines for nutrition in cardiovascular disease (2024). *Eurasian Journal of Cardiology*. 2024; (4): 6–66; <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2024-4-6-66> (In Russian).
- Sharifov M.I. Analysis of bioelement intake with food in Khanty-Mansiysk residents with arterial hypertension. *Vopr. dietol. (Nutrition)*. 2023; 13(3): 9–14. (In Russian). DOI: 10.20953/2224-5448-2023-3-9-14.
- Agnihotri S., Daripelly S., Cherla S.K., Jopaka A.K., Molanguri U. Association of Biomarkers with the Severity of Depression. *Indian J Psychol Med*. 2024 Sep 7: 02537176241264609. DOI: 10.1177/02537176241264609.
- Ahmed A.M., Alsubhi A.S., Shawosh T.S., Almuntashiri M., Alebire A.K., Mohammadi F.F., Aman A.M. Effects of Smoking and Non-Insulin-Dependent Diabetes Mellitus on Blood Trace Element Levels. *Cureus*. 2024 Oct 29; 16(10): e72618. DOI:

10.7759/cureus.72618.

Alateeq K, Walsh EI, Ambikairajah A, Cherbuin N. Association between dietary magnesium intake, inflammation, and neurodegeneration. *Eur J Nutr.* 2024 Aug;63(5):1807-1818. doi: 10.1007/s00394-024-03383-1.

Askari M., Mozaffari H., Jafari A., Ghanbari M., Darooghegi Mofrad M. The Effects of Magnesium Supplementation on Obesity Measures in Adults: A Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2021; 61: 2921–2937. DOI: 10.1080/10408398.2020.1790498.

Baygin H., Siriken F., Sargin G., Çıldag S., Ozturk H., Senturk T. The relationship between dietary inflammatory index scores and rheumatoid arthritis disease activity. *Reumatol Clin (Engl Ed).* 2024 Jun-Jul; 20(6): 305–311. DOI: 10.1016/j.reumae.2024.07.001.

Behrooz M., Ostadrahimi A., Hajjarzadeh S., Mousavi M., Behbahani A.G., Shiva S. The association of dietary approaches to stop hypertension measured by the food frequency questionnaire with metabolic syndrome and some inflammatory biomarkers in adolescents with obesity: a case-control study. *J Health Popul Nutr.* 2025 Jan 18; 44(1): 12. DOI: 10.1186/s41043-025-00744-2.

Cazzola R., Della Porta M., Piuri G., Maier J.A. Magnesium: A Defense Line to Mitigate Inflammation and Oxidative Stress in Adipose Tissue. *Antioxidants (Basel).* 2024 Jul 24; 13(8): 893. DOI: 10.3390/antiox13080893.

Chen R., Zou J., Chen J., Wang L., Kang R., Tang D. Immune aging and infectious diseases. *Chin Med J (Engl).* 2024 Dec 20; 137(24): 3010–3049. DOI: 10.1097/CM9.0000000000003410.

Dong H., Lu N., Wang J., Hu P. Serum magnesium, not calcium, is inversely associated with abnormal HbA1c concentrations in adults with coronary artery disease. *Asia Pac J Clin Nutr.* 2025 Feb; 34(1): 104–111. DOI: 10.6133/apjcn.202502_34(1).0010.

Drenthen L.C.A., Ajie M., de Baaij J.H.F., Tack C.J., de Galan B.E., Stienstra R. Magnesium Supplementation Modulates T-cell Function in People with Type 2 Diabetes and Low Serum Magnesium Levels. *J Clin Endocrinol Metab.* 2024 Nov 18; 109(12): e2240-e2245. DOI: 10.1210/clinem/dgae097.

El Frakchi N., El Kinany K., El Baldi M., Saoud Y., El Rhazi K. Association of dietary total antioxidant capacity with general and abdominal obesity in type 2 diabetes mellitus patients. *PLoS One.* 2024 Jun 26; 19(6): e0306038. DOI: 10.1371/journal.pone.0306038.

Fan J., Liu S., Wei L., Zhao Q., Zhao G., Dong R., Chen B. Relationships between minerals' intake and blood homocysteine levels based on three machine learning methods: a large cross-sectional study. *Nutr Diabetes.* 2024 Jun 1; 14(1): 36. DOI: 10.1038/s41387-024-00293-3.

Fatima G., Dzapina A., B Alhmadi H., Magomedova A., Siddiqui Z., Mehdi A., Hadi N. Magnesium Matters: A Comprehensive Review of Its Vital Role in Health and Diseases. *Cureus.* 2024 Oct 13; 16(10): e71392. DOI: 10.7759/cureus.71392.

Feygin M.S., Brenner A., Tanweer O. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2025 Feb; 34(2): 108188. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2024.108188.

Gadiparthi S., Kalyanshettar S., Patil M., Patil S.V. Role of Serum Magnesium on Insulin Resistance in Overweight and Obese Children. *Cureus.* 2024 Sep 17; 16(9): e69622. DOI: 10.7759/cureus.69622.

Gao G., Ou R., Chen W. Obesity influencing circulating levels of nutrients: Evidence from Mendelian randomization study. *Medicine (Baltimore).* 2024 Sep 13; 103(37): e39594. DOI: 10.1097/MD.00000000000039594.

Jiang Y., Zhang J., Jiang Z., Liu X., Wang L. The prognostic value of serum Mg²⁺ concentration in patients with heart failure and type 2 diabetes mellitus: a retrospective cohort study. *Endocrine.* 2025 Aug; 89(2): 439–447. DOI: 10.1007/s12020-025-04282-z.

Kumar S.R., Kumar K.G.S., Gayathri R. Hypomagnesemia in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *J Assoc Physicians India.* 2024 Jul; 72(7): 25–28. DOI: 10.59556/japi.72.0410.

Li F., Li Y., Wang Y., Chen X., Liu X., Cui J. Association between magnesium depletion score and the risk of metabolic dysfunction associated steatotic liver disease: a cross sectional study. *Sci Rep.* 2024 Oct 19; 14(1): 24627. DOI: 10.1038/s41598-024-75274-8.

Macian N., Dualé C., Voute M., Leray V., Courrent M., Bodé P., Giron F., Sonnevile S., Bernard L., Joanny F., Menard K., Duchex G., Pereira B., Pickering G. Short-term magnesium therapy alleviates moderate stress in patients with fibromyalgia: a randomized double-blind clinical trial. *Nutrients.* 2022; 14(10): 2088; <https://doi.org/10.3390/nu14102088>.

Manik K.A., Joice P.P.S., Jagadal I.A., T K J, Samundeeswari V., Madompoyil B., Pinjar M.J. The Role of Lp-PLA2 as a Mediator Between Serum Magnesium and Zinc Levels and Cardiovascular Risk in Patients With Metabolic Syndrome. *Cureus.* 2024 Oct 22; 16(10): e72107. DOI: 10.7759/cureus.72107.

Panta R, Regmi S. Role of Magnesium, Effects of Hypomagnesemia, and Benefits of Magnesium Supplements in Cardiovascular and Chronic Kidney Diseases. *Cureus.* 2024 Jul 12; 16(7): e64404. DOI: 10.7759/cureus.64404.

Pelczyńska M., Moszak M., Bogdański P. The Role of Magnesium in the Pathogenesis of Metabolic Disorders. *Nutrients.* 2022 Apr 20; 14(9): 1714. DOI: 10.3390/nu14091714.

Pethő Á.G., Fülöp T., Orosz P., Tapolyai M. Magnesium Is a Vital Ion in the Body-It Is Time to Consider Its Supplementation on a Routine Basis. *Clin Pract.* 2024 Mar 22; 14(2): 521–535. DOI: 10.3390/clinpract14020040.

Petrakis I., Bacharaki D., Kyriazis P., Balafa O., Dounousi E., Tspiranlis G., et al. Cardiovascular and All-Cause Mortality Is Affected by Serum Magnesium and Diet Pattern in a Cohort of Dialysis Patients. *J Clin Med.* 2024 Jul 10; 13(14): 4024. DOI: 10.3390/jcm13144024.

Pitliya A., Vasudevan S.S., Batra V., Patel MB., Desai A., Nethagani S., Pitliya A. Global prevalence of hypomagnesemia in type 2 diabetes mellitus - a comprehensive systematic review and meta-analysis of observational studies. *Endocrine.* 2024 Jun; 84(3): 842–851. DOI: 10.1007/s12020-023-03670-7.

Pradhan M., Hedaoo R., Joseph A., Jain R. Charting Wellness in India: Piloting the iTHRIVE's Functional Nutrition Approach to Improve Glycaemic and Inflammatory Parameters in Prediabetes and Type 2 Diabetes Mellitus. *Cureus.* 2024 Jul 3; 16(7): e63744.

DOI: 10.7759/cureus.63744.

Rahimlou M., Ahmadi A.R., Cheraghian B., Baghdadi G., Ghalishourani S.S., Nozarian S., Hashemi S.J., Rahimi Z., Jahromi N.B., Hosseini S.A. The association between dietary inflammatory index with some cardio-metabolic risk indices among the patients with type 2 diabetes from Hoveyeh cohort study: a cross-sectional study. *BMC Endocr Disord.* 2024 Jun 19; 24(1): 91. DOI: 10.1186/s12902-024-01624-2.

Ram V.S., Vishnoi A., Sharma M., Jaison A., Singh N. Unveiling the Role of Magnesium: Insights into Insulin Resistance and Glycemic Control in Type 2 Diabetes. *EJIFCC.* 2024; 35(3): 189–194.

Rosanoff A., West C., Elin R.J., Mücke O., Baniyadi S., Barbagallo M., et al. MaGNet Global Magnesium Project (MaGNet). Recommendation on an updated standardization of serum magnesium reference ranges. *Eur J Nutr.* 2022 Oct; 61(7): 3697–3706. DOI: 10.1007/s00394-022-02916-w.

Sato R., Koziolok M.J., von Haehling S. Translating evidence into practice: Managing electrolyte imbalances and iron deficiency in heart failure. *Eur J Intern Med.* 2025 Jan; 131: 15–26. DOI: 10.1016/j.ejim.2024.10.024.

Song Q., Song L., Liu H., Tan H., Yang B., Fan C., Liu L. Association of magnesium intake with predicted atherosclerotic lesions and cardiovascular risk in young adults based on PDAY score: a cross-sectional study. *BMC Public Health.* 2024 Nov 20; 24(1): 3232. DOI: 10.1186/s12889-024-20785-2.

Veronese N., Pizzol D., Smith L., Dominguez L.J., Barbagallo M. Effect of Magnesium Supplementation on Inflammatory Parameters: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients.* 2022 Feb 5; 14(3): 679. DOI: 10.3390/nu14030679.

Veronese N., Dominguez L.J., Pizzol D., Demurtas J., Smith L., Barbagallo M. Oral Magnesium Supplementation for Treating Glucose Metabolism Parameters in People with or at Risk of Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis of Double-Blind Randomized Controlled Trials. *Nutrients.* 2021; 13(11): 4074. DOI: 10.3390/nu13114074.

Xu M.R., Wang A.P., Wang Y.J., Lu J.X., Shen L., Li L.X. Serum Magnesium Levels Are Negatively Associated with Obesity and Abdominal Obesity in Type 2 Diabetes Mellitus: A Real-World Study. *Diabetes Metab J.* 2024 Nov; 48(6): 1147–1159. DOI: 10.4093/dmj.2023.0401.

Zanforlini B.M., Ceolin C., Trevisan C., Alessi A., Seccia D.M., Noale M., et al. Clinical trial on the effects of oral magnesium supplementation in stable-phase COPD patients. *Aging Clin. Exp. Res.* 2022; 34: 167–174. DOI: 10.1007/s40520-021-01921-z.

Zhao B., Zeng L., Zhao J., Wu Q., Dong Y., Zou F., Gan L., Wei Y., Zhang W. Association of magnesium intake with type 2 diabetes and total stroke: An updated systematic review and meta-analysis. *BMJ Open.* 2020; 10: e032240. DOI: 10.1136/bmjopen-2019-032240.

Information about the authors:

Kh.Kh. Sharafetdinov – Dr.Sc. (Med.), Head of the Department of Metabolic Diseases and Diet Therapy
E-mail: sharafandr@mail.ru; ORCID: 0000-0001-6061-0095

R.I. Alekseeva – Ph.D. (Med.), Research Scientist of the Department of Metabolic Diseases and Diet Therapy
E-mail: ravial@mail.ru; ORCID: 0000-0003-4129-6971

V.M. Kodentsova – Dr.Sc. (Biol.), Professor, Chief Research Scientist of the Laboratory of Vitamins and Minerals
E-mail: kodentsova@ion.ru; ORCID: 0000-0002-5288-1132

O.A. Plotnikova – Ph.D. (Med.), Senior Research Scientist, Department of Metabolic Diseases and Diet Therapy
E-mail: plot_oks@mail.ru; ORCID: 0000-0001-8232-8437

V.V. Pilipenko – Ph.D. (Med.), Research Scientist of the Department of Metabolic Diseases and Diet Therapy
E-mail: kushonok9@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0628-0854

Conflict of interest

The authors declare no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Funding

The study was conducted within the framework of FGMP-2025-0003 without additional funding.

Поступила 5 ноября 2025 года
Принята к публикации 30 ноября 2025 года

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

**КОНЦЕНТРАЦИЯ СЕЛЕНОПРОТЕИНА Р И ГЛУТАТИОНПЕРОКСИДАЗЫ
В СЫВОРОТКЕ КРОВИ И ДРУГИЕ МАРКЕРЫ ОБМЕНА СЕЛЕНА
В ОРГАНИЗМЕ ПАЦИЕНТОВ С ОСТЕОАРТРИТОМ**

**А.В. Скальный^{1,2}, Т.В. Коробейникова^{1,2}, А.Ф. Алиев¹, Н.И. Ремизова¹,
Г.Д. Морозова¹, К.С. Терновой¹, А.А. Коваленко¹, А.А. Тиньков^{1,2}**

¹ ФГАОУ Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России
(Сеченовский университет),
Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Трубецкая д. 8, стр.2

² Российский университет дружбы народов (РУДН),
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

РЕЗЮМЕ. Цель исследования – изучение характеристик обмена селена в организме пациентов с гонартрозом в зависимости от наличия сочетанного коксартроза с оценкой уровня селена в биосубстратах, а также концентрации селенопротеина Р (SeP) и глутатионпероксидазы (ГПО) в сыворотке крови.

Материалы и методы. В ходе работы обследовано 27 пациентов с гонартрозом, 45 пациентов с сочетанным гонартрозом и коксартрозом, а также 36 здоровых обследуемых. Определение содержания селена в сыворотке крови и волосах осуществляли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Определение концентрации селенопротеинов ГПО и SeP, а также олигомерного матриксного белка хряща (СОМР) выполняли методом иммуноферментного анализа. Оценку концентрации С-реактивного белка (СРБ) проводили методом иммунотурбидиметрии.

Результаты. Сывороточная концентрация СОМР и СРБ у пациентов с гонартрозом и сочетанным гонартрозом и коксартрозом превышала контрольные показатели на 123 и 99%, а также 69 и 127% соответственно. Уровни селена в волосах и ГПО в сыворотке крови пациентов данных групп оказались выше соответствующих контрольных значений на 73 и 41%, а также 31 и 38% соответственно. В случае концентрации селена в сыворотке крови, имела место лишь тенденция к снижению у пациентов с остеоартритом. В то же время концентрация SeP, являющегося основной транспортной формой селена в циркулирующей крови, у пациентов с гонартрозом и сочетанным гонартрозом и коксартрозом была ниже таковой у здоровых обследуемых на 18 и 45% соответственно.

Выводы. Предполагается, что повышение уровня ГПО может являться компенсаторной реакцией на развитие окислительного стресса при прогрессировании поражения хрящевой ткани, тогда как снижение концентрации SeP на фоне тенденции к снижению уровня селена в сыворотке крови может отражать формирование дефицита селена вследствие возросших потребностей в данном элементе для синтеза антиоксидантных селенопротеинов, таких как ГПО.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: селен, селенопротеины, остеоартрит, гонартроз, коксартроз.

Для цитирования: Скальный А.В., Коробейникова Т.В., Алиев А.Ф., Ремизова Н.И., Морозова Г.Д., Терновой К.С., Коваленко А.А., Тиньков А.А. Концентрация селенопротеина Р и глутатионпероксидазы в сыворотке крови и другие маркеры обмена селена в организме пациентов с остеоартритом. Микроэлементы в медицине. 2025;26(4):15–24. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-4-15-24.

ВВЕДЕНИЕ

Остеоартрит (ОА) представляет собой хроническое дегенеративное заболевание суставов, сопровождающееся повреждением хрящевой ткани сустава и субхондральной кости (Loeser et al.,

2012). Согласно эпидемиологическим данным, в 2020 году суммарное количество пациентов с ОА составило порядка 595 млн человек (GBD, 2021). Ожидается, что к 2035 году количество человек, страдающих ОА, увеличится до более чем 720 млн

* Адрес для переписки:
Тиньков Алексей Алексеевич
E-mail: tinkov.a.a@gmail.com

(Cao et al., 2024). Остеоартрит поражает различные суставы, однако наиболее частой локализацией является коленный сустав и в меньшей степени бедренный сустав (Long et al., 2022). Частота ОА коленного (гонартроз) и бедренного (коксартроз) суставов составляет 16% (Cui et al., 2020) и 8,55% (Fan et al., 2023) от всего количества случаев.

Факторами риска развития ОА являются пол, возраст, наличие ожирения, а также ряд генетических факторов (Musumeci et al., 2015). Наряду с эндогенными факторами, значимый вклад в развитие ОА вносит ряд внешних факторов, в том числе особенности питания (Wei et al., 2024). В частности, наряду с поступлением в организм макронутриентов, принципиальное значение имеет поступление микронутриентов, в том числе эссенциальных микроэлементов (Li et al., 2021).

Селен (Se) является эссенциальным металлом, вовлеченным в функционирование всех органов и систем посредством структурной роли в составе селенопротеинов, гетерогенной группы белков, участвующих в регуляции редокс-гомеостаза, иммунного ответа, синтезе тиреоидных гормонов и ряде других функций (Kieliszek, Vapo, 2022). Селен необходим для нормального развития, функционирования и обновления хрящевой ткани (Kang et al., 2020). Как следствие, дефицит селена связан с развитием патологии хрящевой ткани, наиболее ярким примером которой является болезнь Кашина–Бека (Уровская болезнь) (Liu et al., 2024). Помимо этого, отмечена роль нарушений обмена селена в развитии ревматоидного артрита (Turrubiates-Hernández et al., 2020) и других воспалительных артропатий (Скальный с соавт., 2025).

Рядом работ отмечается взаимосвязь между обеспеченностью организма селеном и риском развития ОА. С одной стороны, наблюдается взаимосвязь между низким уровнем селена в сыворотке крови и развитием ОА (Wang et al., 2022). С другой стороны, результаты недавно проведенного метаанализа выявили прямую взаимосвязь между повышенным потреблением селена и риском развития ОА, тогда как сывороточная концентрация селена не была достоверно ассоциирована с данным заболеванием вследствие значительных противоречий в результатах опубликованных исследований (Mollazadeh, Salesi, 2024). Несмотря на выявленную в экспериментальных исследованиях непосредственную роль селенопротеинов в развитии ОА (Kang et al., 2022), работы, свидетельствующие о нарушении

метаболизма селенопротеинов у пациентов с ОА единичны (Zhang et al., 2018; Wahl et al., 2025).

Ц е л ь и с с л е д о в а н и я – изучение характеристик обмена селена в организме пациентов с ОА коленного сустава (гонартроз) в зависимости от наличия сочетанного коксартроза, с оценкой уровня селена в биосубстратах, а также концентрации селенопротеина Р (SeP) и глутатионпероксидазы (ГПО) в сыворотке крови.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведение настоящего исследования осуществляли в соответствии с этическими принципами, обозначенными в Хельсинкской декларации (1964 г.) и ее последующих редакциях. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ПМГМУ им. И.М. Сеченова (09-24 от 03.04.2024).

Обследовали 108 взрослых пациентов и здоровых лиц: женщин ($n = 79$) и мужчин ($n = 29$) в возрасте от 22 до 74 лет (средний возраст 46 ± 12 лет), среди которых были пациенты с гонартрозом ($n = 27$), сочетанным гонартрозом и коксартрозом ($n = 45$), а также здоровые обследуемые ($n = 36$). Проведение обследования и получение биоматериала осуществляли на клинических базах ПМГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет).

Венозную кровь получали из локтевой вены утром натощак с последующим центрифугированием в течение 10 мин при скорости 1600 об/мин для отделения сыворотки от форменных элементов крови. Образцы сыворотки хранили в пробирках типа эппендорф в условиях глубокой заморозки (-70 °C) до момента анализа.

Сбор образцов волос также осуществляли в условиях лаборатории с использованием стерильных ножниц из нержавеющей стали, обработанной этанолом. Для исследования отбирали проксимальные части прядей волос (1-2 см) с затылочной области головы в количестве до 0,1 г. Образцы волос хранили в бумажных конвертах при комнатной температуре до момента анализа.

С целью проведения анализа содержания селена в волосах и сыворотке крови, полученные образцы подвергали пробоподготовке. Образцы волос отмывали ацетоном с последующим промыванием в дистиллированной деионизированной воде (18 МОм·см) и высушиванием в условиях вытяжной вентиляции до стабильной массы. Впоследствии осуществляли разложение в концентрированной (65%) азотной кислоте в микроволновой системе Berghof SpeedWave 4

DAP-40 (Berghof Products + Instruments GmbH, Eningen, Германия) и TopWave (Analytik Jena, Germany). Пробоподготовка образцов сыворотки крови включала в себя разведение в объемном соотношении 1:15 дилуентом, состоящим из 1% 1-бутанола (Merck KGaA, Германия), 0,1% Тритона X-100 (Sigma-Aldrich, США) и 0,07% азотной кислоты (Sigma-Aldrich, США) в дистиллированной деионизированной воде (18 МОм·см), и имеющим кислую реакцию (рН = 2,0). Определение содержания селена в сыворотке крови (мкг/мл) и волосах (мкг/г) осуществляли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре Agilent 7700x (Agilent Technologies, Tokyo, Japan), оснащенный автодозатором. Перед проведением анализа выполняли калибровку системы с использованием растворов с концентрациями селена 0,05, 0,5 и 5 мкг/мл. Контроль качества проводимых измерений осуществляли с использованием сертифицированных референтных образцов волос (GBW09101, Shanghai Institute of Nuclear Research, КНР) и плазмы крови (ClinChek® Plasma Control, RECIPE Chemicals + Instruments GmbH, Германия). Фактические результаты измерения сертифицированных референтных образцов находились в пределах сертифицированных значений.

Определение концентрации селенопротеинов ГПО и SeP, а также олигомерного матричного белка хряща (cartilage oligomeric matrix protein, COMP) в сыворотке крови проводили методом иммуноферментного анализа (ИФА) на ридере Readwell TOUCH (Robonik India Pvt Ltd, Индия). Уровень С-реактивного белка (СРБ) оценивали методом иммунотурбидиметрии на биохимическом анализаторе Sapphire 400 (Tokyo Boeki Medisys, Япония).

Статистический анализ полученных данных выполняли с использованием Statistica 10.0 (Statsoft, США). Для оценки характера распределения данных применяли критерий Шапиро–Уилка. Вследствие отсутствия гауссового распределения данных, для представления результатов использовали медиану и соответствующие границы межквартильного интервала (inter-quartile range, IQR). Достоверность групповых различий оценивали с использованием U-критерия Манна–Уитни. Оценку значимости тенденции к изменению значений параметра среди трех групп проводили с использованием критерия Краскелла–Уоллиса.

Результаты проведенных статистических тестов считали достоверными при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе исследования установлено, что сывороточная концентрация COMP, являющегося маркером повреждения хряща, у пациентов с гонартрозом и сочетанным гонартрозом и коксартрозом превышала соответствующие показатели в контрольной группе на 123 и 99% соответственно. При этом уровень СРБ в сыворотке крови пациентов данных групп был достоверно выше такового у здоровых обследуемых соответственно на 69 и 127%. Тенденция к повышению концентрации данных маркеров у пациентов по мере увеличения количества пораженных суставов являлась достоверной.

При изучении маркеров обмена селена в организме обследуемых выявлены разнонаправленные изменения. С одной стороны, содержание селена в волосах обследуемых с гонартрозом и сочетанным гонартрозом и коксартрозом превышало соответствующие значения в группе контроля на 73 и 41%. Аналогично уровень ГПО в сыворотке крови обследуемых с гонартрозом и сочетанным гонартрозом и коксартрозом был достоверно выше контрольных показателей на 31 и 38% соответственно. Увеличение значений данных показателей по мере вовлечения большего количества суставов также являлось статистически значимым. В то же время значимых изменений концентрации селена в сыворотке крови среди групп обследуемых выявлено не было, хотя и имело место некоторое снижение значений данного параметра у пациентов с гонартрозом и коксартрозом.

В отличие от других маркеров обмена селена, концентрация SeP, являющегося основной транспортной формой селена в циркулирующей крови, характеризовалась тенденцией к снижению на фоне остеоартрита. Так, сывороточный уровень SeP у пациентов с гонартрозом и сочетанным гонартрозом и коксартрозом был ниже такового у здоровых обследуемых на 18 и 45% соответственно. В то же время данные различия являлись статистически значимыми лишь в последнем случае. При этом тенденция к снижению концентрации SeP по мере вовлечения большего количества суставов приближалась к уровню статистической значимости (таблица).

Таблица. Концентрация маркеров повреждения хряща, воспаления и обмена селена в организме здоровых обследуемых и пациентов с остеоартритом

Показатель	Контроль	Гонартроз	Гонартоз+коксартоз	κ^w_p
СОМР, нг/мл	3,24 (2,58–4,77)	7,24 (5,84–9,48) ¹	6,44 (4,74–8,12) ¹	< 0,001*
СРБ, мг/л	2,141 (1,324–3,142)	3,606 (2,375–6,793) ¹	4,844 (2,577–9,089) ¹	0,003*
Se, волосы, мкг/г	0,296 (0,22–0,404)	0,51 (0,236–0,755) ¹	0,416 (0,299–0,655) ¹	0,013*
Se, сыворотка крови, мкг/мл	0,100 (0,087–0,110)	0,098 (0,085–0,115)	0,093 (0,081–0,107)	0,605
SeP, нг/мл	1940 (1350–2170)	1585 (955–2205)	1055 (840–2140) ¹	0,071
ГПО, нг/мл	52,5 (47,88–69,3)	68,48 (62,62–108,7) ¹	72,01 (64,8–92,78) ¹	0,014*

Примечание: данные представлены в виде медианы и соответствующих значений межквартильного интервала; ¹ – достоверность отличий от значений контрольной группы при $p < 0,05$ в соответствии с U-критерием Манна–Уитни; κ^w_p – достоверность тренда в соответствии с критерием Краскелла–Уоллиса при уровне значимости $p < 0,05$ (*).

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенного исследования продемонстрировали, что пациенты с ОА коленного и бедренного суставов характеризуются выраженным увеличением уровней СОМР и СРБ, а также сывороточной концентрации ГПО и уровня Se в волосах на фоне снижения концентрации SeP в сыворотке крови.

Концентрация СОМР является маркером повреждения хрящевой ткани и ремоделирования межклеточного матрикса (Smith, Melrose, 2025). При этом повышенная концентрация СОМР в сыворотке крови пациентов с ОА характеризуется положительной взаимосвязью с выраженностью болевого синдрома и концентрации провоспалительного цитокина ИЛ-1 β , в связи с чем рассматривается в качестве полноценного прогностического биомаркера ОА (Verma, Dalal, 2013). Повышение концентрации СОМР также связано с клиническими и радиологическими характеристиками тяжести ОА (Akinmade et al., 2021).

Таким образом, повышение концентрации СОМР у обследуемых пациентов с гонартрозом и коксартозом является свидетельством повреждения хрящевой ткани.

С учетом роли воспаления в патогенезе ОА (De Roover et al., 2023), повышение концентрации СРБ тесно связано с риском развития данного заболевания (Zhang et al., 2024). Концентрация СРБ характеризуется тесной взаимосвязью с про-

грессированием ОА коленного сустава (Kondo et al., 2021). Отмечается, что повышение концентрации СРБ опосредует взаимосвязь между наличием ОА и риском сердечно-сосудистых заболеваний, что указывает на роль воспалительной реакции в качестве возможного механизма (Wang et al., 2025). В связи с этим установленное повышение концентрации СРБ у обследуемых пациентов с ОА является следствием развития локального и системного воспаления.

Селен играет значительную роль в патогенезе патологии хряща посредством поддержания адекватной экспрессии селенопротеинов, в том числе выполняющих антиоксидантные функции (Yan et al., 2013). При этом поступление в организм селена вносит значительный вклад в защиту хондроцитов от окислительного повреждения вследствие активации фактора транскрипции Nrf2 и торможения провоспалительного NF- κ B-зависимого сигнального пути (Cheng et al., 2024). Как следствие, дефицит селена сопровождается нарушением экспрессии селенопротеинов в хондроцитах, приводя к нарушению редокс-гомеостаза и иммунной реакции в хрящевой ткани (Deng et al., 2022). Помимо этого, дефицит селена усугубляет повреждение хрящевой ткани, индуцированное микотоксинами, обладающими выраженным токсическим действием в отношении хондроцитов (Tinkov et al., 2025).

Глутатионпероксидаза является одним из антиоксидантных селенопротеинов, вовлеченных

в защиту хондроцитов. В ходе проведенного исследования установлено повышение уровня ГПО в сыворотке крови пациентов с РА, причем данное изменение было достоверно ассоциировано с вовлечением большего количества суставов в патологический процесс. В то же время рядом исследований отмечалось снижение активности ГПО в плазме крови (Paździor et al., 2019) и эритроцитах пациентов с ОА на фоне отсутствия значимых различий в активности фермента в мононуклеарах (Vnukov et al., 2015). Данные наблюдения в целом согласуются с установленной ролью окислительного стресса в патогенезе ОА (Liu et al., 2022). Однако в ходе настоящего исследования выявлено повышение концентрации ГПО в периферической крови пациентов с ОА. Полученные данные согласуются с результатами ранее проведенного исследования, указывающего на достоверное повышение экспрессии ГПО в лейкоцитах пациентов с ОА, что может являться компенсаторной реакцией на развитие окислительного стресса (Zhao et al., 2023). Аналогичная ситуация отмечалась в случае ревматоидного артрита (Jacobson et al., 2012). Наблюдаемое повышение уровня ГПО в ответ на развитие окислительного стресса при ОА может являться следствием активации фактора транскрипции Nrf2 (Chen et al., 2019), стимулирующего экспрессию антиоксидантных ферментов.

Селенопротеин Р является основной транспортной формой селена, обеспечивающей поступление селена в костную и хрящевую ткань (Pietschmann et al., 2014). В отличие от уровня ГПО, который характеризуется повышением у пациентов с ОА, полученные данные свидетельствуют о снижении концентрации SeP в сыворотке крови, особенно у пациентов с повреждением нескольких суставов. Данное наблюдение является первым свидетельством снижения концентрации SeP в сыворотке крови пациентов с ОА. Результаты недавно проведенного исследования свидетельствуют о положительной взаимосвязи между концентрацией SeP в сыворотке крови и функциональной активностью пациентов с ОА (Wahl et al., 2025). В то же время данные наблюдения согласуются с выявленным нами ранее снижением концентрации SeP в сыворотке крови пациентов с воспалительными артропатиями (Скальный с соавт., 2025). У пациентов с болезнью Кашина–Бека также регистрировали снижение уровня экспрессии SeP в цельной крови (Sun et al., 2010). Таким образом, полученные

данные свидетельствуют в пользу снижения интенсивности транспорта селена в составе SeP, что может являться одним из признаков дефицита селена (Schomburg, 2022).

Следует отметить, что данные о содержании селена в биообразцах обследуемых достаточно противоречивы. Так, повышение уровня селена в волосах пациентов с ОА не сопровождалось значимым изменением сывороточной концентрации данного элемента. Несмотря на отмечаемое в ряде работ снижение концентрации селена в циркулирующей крови, результаты метаанализа не выявили значимого изменения сывороточного уровня селена у пациентов с ОА (Mollazadeh, Salesi, 2024). С другой стороны, повышенное поступление селена с пищей может быть связано с увеличением риска развития ОА (Deng, Tan, 2023). Несмотря на это, наблюдаемое увеличение содержания селена в волосах не может свидетельствовать об избыточном накоплении этого элемента в организме вследствие отсутствия значимых изменений его сывороточной концентрации, а также достоверного снижения уровня SeP. Несмотря на отсутствие данных об изменении уровня Se в волосах пациентов с ОА, стоит отметить, что в ряде работ повышение уровня селена в волосах на фоне снижения его циркулирующего уровня может свидетельствовать о его экскреции (Pyrzyńska, 2002; Skalny et al., 2017). В свете повышения уровня селена в волосах на фоне отсутствия значимых изменений в его сывороточной концентрации в комплексе с прогрессивным снижением концентрации SeP, справедливо предположить, что в данном случае имеет место повышенное выведение селена. Предполагается, что одной из причин снижения уровня SeP может являться увеличение потребности в селене вследствие гиперпродукции ГПО, являющейся компенсаторной реакцией на развитие окислительного стресса.

ВЫВОДЫ

Результаты исследования продемонстрировали, что пациенты с гонартрозом и особенно сочетанным гонартрозом и коксартрозом, наряду с выраженным повреждением хрящевой ткани и воспалительной реакцией, характеризуются комплексным нарушением метаболизма селена. С одной стороны, повышение уровня ГПО может являться компенсаторной реакцией, направленной на предотвращение прогрессирования окислительного стресса. С другой стороны, досто-

верное снижение концентрации SeP на фоне тенденции к снижению уровня селена в сыворотке крови может являться отражением формирования дефицита селена вследствие возросших потребностей в данном элементе для синтеза антиоксидантных селенопротеинов, таких как ГПО. Наблюдаемое при этом повышение содержания селена в волосах может свидетельствовать об интенсификации экскреции селена.

Результаты настоящего исследования, таким

образом, согласуются с данными о роли нарушения обмена селена в патогенезе заболеваний хрящевой ткани. В то же время для понимания непосредственных механизмов, обуславливающих роль нарушений метаболизма селена в патогенезе ОА, необходимы дальнейшие исследования, которые способны открыть новые перспективы в разработке стратегий по лечению и профилактике ОА путем коррекции обмена селена в организме.

ЛИТЕРАТУРА

- Скальный А.В., Коробейникова Т.В., Меньшикова И.В., Морозова Г.Д., Сотникова Т.И., Мак Д.В., Тиньков А.А. Взаимосвязь характеристик метаболизма селена и селенопротеинов с интенсивностью повреждения хряща у пациентов с ревматоидным, псориатическим и подагрическим артритом. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2025; 28(11): 68–76; <https://doi.org/10.29296/25877313-2025-11-09>.
- Akinmade A., Oginni L.M., Adegbehingbe O.O., Okunlola A.I., Jeje O.A., Adeyeye A.I. Serum cartilage oligomeric matrix protein as a biomarker for predicting development and progression of knee osteoarthritis. *International Orthopaedics*. 2021; 45(3): 551–557; <https://doi.org/10.1007/s00264-021-04943-4>.
- Cao F., Xu Z., Li X.X., Fu Z.Y., Han R.Y., Zhang J.L., Wang P., Hou S., Pan H.F. Trends and cross-country inequalities in the global burden of osteoarthritis, 1990–2019: A population-based study. *Ageing Research Reviews*. 2024; 99: 102382; <https://doi.org/10.1016/j.arr.2024.102382>.
- Chen Z., Zhong H., Wei J., Lin S., Zong Z., Gong F., Huang X., Sun J., Li P., Lin H., Wei B., Chu J. Inhibition of Nrf2/HO-1 signaling leads to increased activation of the NLRP3 inflammasome in osteoarthritis. *Arthritis Research & Therapy*. 2019; 21(1): 300; <https://doi.org/10.1186/s13075-019-2085-6>.
- Cheng H.L., Yen C.C., Huang L.W., Hu Y.C., Huang T.C., Hsieh B.S., Chang K.L. Selenium Lessens Osteoarthritis by Protecting Articular Chondrocytes from Oxidative Damage through Nrf2 and NF-κB Pathways. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024; 25(5): 2511; <https://doi.org/10.3390/ijms25052511>.
- Cui A., Li H., Wang D., Zhong J., Chen Y., Lu H. Global, regional prevalence, incidence and risk factors of knee osteoarthritis in population-based studies. *EClinicalMedicine*. 2020; 29–30: 100587; <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2020.100587>.
- De Roover A., Escribano-Núñez A., Monteagudo S., Lories R. Fundamentals of osteoarthritis: Inflammatory mediators in osteoarthritis. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2023; 31(10): 1303–1311; <https://doi.org/10.1016/j.joca.2023.06.005>.
- Deng H., Liu H., Yang Z., Bao M., Lin X., Han J., Qu C. Progress of Selenium Deficiency in the Pathogenesis of Arthropathies and Selenium Supplement for Their Treatment. *Biological Trace Element Research*. 2022; 200(10): 4238–4249; <https://doi.org/10.1007/s12011-021-03022-4>.
- Deng X., Tan Y. A national cross-sectional analysis of selenium intake and risk of osteoarthritis: NHANES 2003–2016. *Frontiers in Public Health*. 2023; 10: 1047605; <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1047605>.
- Fan Z., Yan L., Liu H., Li X., Fan K., Liu Q., Li J.J., Wang B. The prevalence of hip osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Arthritis Research & Therapy*. 2023; 25: 51; <https://doi.org/10.1186/s13075-023-03033-7>.
- GBD 2021 Osteoarthritis Collaborators. Global, regional, and national burden of osteoarthritis, 1990–2020 and projections to 2050: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet Rheumatology*. 2023; 5(9): e508–e522; [https://doi.org/10.1016/S2665-9913\(23\)00163-7](https://doi.org/10.1016/S2665-9913(23)00163-7).
- Jacobson G.A., Ives S.J., Narkowicz C., Jones G. Plasma glutathione peroxidase (GSH-Px) concentration is elevated in rheumatoid arthritis: a case-control study. *Clinical Rheumatology*. 2012; 31(11): 1543–1547; <https://doi.org/10.1007/s10067-012-2046-9>.
- Kang D., Lee J., Jung J., Carlson B.A., Chang M.J., Chang C.B., Kang S.B., Lee B.C., Gladyshev V.N., Hatfield D.L., Lee B.J., Kim J.H. Selenophosphate synthetase 1 deficiency exacerbates osteoarthritis by dysregulating redox homeostasis. *Nature Communications*. 2022; 13(1): 779; <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28385-7>.
- Kang D., Lee J., Wu C., Guo X., Lee B.J., Chun J.S., Kim J.H. The role of selenium metabolism and selenoproteins in cartilage homeostasis and arthropathies. *Experimental & Molecular Medicine*. 2020; 52(8): 1198–1208; <https://doi.org/10.1038/s12276-020-0408-y>.
- Kieliszek M., Bano I. Selenium as an important factor in various disease states - a review. *EXCLI Journal*. 2022; 21: 948–966; <https://doi.org/10.17179/excli2022-5137>.
- Kondo F., Takegami Y., Ishizuka S., Hasegawa Y., Imagama S. The association of the progression of knee osteoarthritis with high-sensitivity CRP in community-dwelling people—the Yakumo study. *Clinical Rheumatology*. 2021; 40(7): 2643–2649; <https://doi.org/10.1007/s10067-020-05541-2>.
- Li G., Cheng T., Yu X. The Impact of Trace Elements on Osteoarthritis. *Frontiers in Medicine*. 2021; 8: 771297; <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.771297>.
- Liu L., Luo P., Wen P., Xu P. Effects of selenium and iodine on Kashin-Beck disease: an updated review. *Frontiers in Nutrition*. 2024; 11: 1402559; <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1402559>.
- Liu L., Luo P., Yang M., Wang J., Hou W., Xu P. The role of oxidative stress in the development of knee osteoarthritis: A com-

- prehensive research review. *Frontiers in Molecular Biosciences*. 2022; 9: 1001212; <https://doi.org/10.3389/fmolb.2022.1001212>.
- Loeser R.F., Goldring S.R., Scanzello C.R., Goldring M.B. Osteoarthritis: a disease of the joint as an organ. *Arthritis & Rheumatism*. 2012; 64(6): 1697–1707; <https://doi.org/10.1002/art.34453>.
- Long H., Liu Q., Yin H., Wang K., Diao N., Zhang Y., Lin J., Guo A. Prevalence Trends of Site-Specific Osteoarthritis From 1990 to 2019: Findings From the Global Burden of Disease Study 2019. *Arthritis & Rheumatology*. 2022; 74(7): 1172–1183; <https://doi.org/10.1002/art.42089>.
- Mollazadeh H., Salesi M. A systematic review and meta-analysis of the association between selenium and osteoarthritis. *Immunopathologia Persa*. 2024; 11(1): e40656; <https://doi.org/10.34172/ipp.2024.40656>.
- Musumeci G., Aiello F.C., Szychlinska M.A., Di Rosa M., Castrogiovanni P., Mobasheri A. Osteoarthritis in the XXIst century: risk factors and behaviours that influence disease onset and progression. *International Journal of Molecular Sciences*. 2015; 16(3): 6093–6112; <https://doi.org/10.3390/ijms16036093>.
- Paździór M., Kielczykowska M., Kurzepa J., Luchowska-Kocot D., Kocot J., Musik I. The Oxidative Stress in Knee Osteoarthritis Patients. An Attempt of Evaluation of Possible Compensatory Effects Occurring in the Disease Development. *Medicina*. 2019; 55(5): 150; <https://doi.org/10.3390/medicina55050150>.
- Pietschmann N., Rijntjes E., Hoeg A., Stoedter M., Schweizer U., Seemann P., Schomburg L. Selenoprotein P is the essential selenium transporter for bones. *Metallomics*. 2014; 6(5): 1043–1049; <https://doi.org/10.1039/c4mt00003j>.
- Pyrzyńska K. Determination of selenium species in environmental samples. *Microchimica Acta*. 2002; 140(1): 55–62; <https://doi.org/10.1007/s00604-002-0893-9>.
- Schomburg L. Selenoprotein P – Selenium transport protein, enzyme and biomarker of selenium status. *Free Radical Biology and Medicine*. 2022; 191: 150–163; <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2022.08.022>.
- Skalny A.V., Simashkova N.V., Skalnaya A.A., Klyushnik T.P., Bjørklund G., Skalnaya M.G., Tinkov A.A. Assessment of gender and age effects on serum and hair trace element levels in children with autism spectrum disorder. *Metabolic Brain Disease*. 2017; 32(5): 1675–1684; <https://doi.org/10.1007/s11011-017-0056-7>.
- Smith M.M., Melrose J. COMP Is a Biomarker of Cartilage Destruction, Extracellular Matrix and Vascular Remodeling and Tissue Repair. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025; 26(18): 9182; <https://doi.org/10.3390/ijms26189182>.
- Sun W., Wang X., Zou X., Song R., Du X., Hu J., Xiong Y. Selenoprotein P gene rs25191g/a polymorphism and quantification of selenoprotein P mRNA level in patients with Kashin-Beck disease. *British Journal of Nutrition*. 2010; 104(9): 1283–1287; <https://doi.org/10.1017/S0007114510002199>.
- Tinkov A.A., Skalny A.V., Guo X., Korobeinikova T.V., Ning Y., Rocha J.B.T., Zhang F., Aschner M. Review of the Protective Effects of Selenium against T-2 Toxin-Induced Toxicity. *Chemical Research in Toxicology*. 2025; 38(6): 975–996; <https://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.5c00095>.
- Turrubiates-Hernández F.J., Márquez-Sandoval Y.F., González-Estevéz G., Reyes-Castillo Z., Muñoz-Valle J.F. The Relevance of Selenium Status in Rheumatoid Arthritis. *Nutrients*. 2020; 12(10): 3007; <https://doi.org/10.3390/nu12103007>.
- Verma P., Dalal K. Serum cartilage oligomeric matrix protein (COMP) in knee osteoarthritis: a novel diagnostic and prognostic biomarker. *Journal of Orthopaedic Research*. 2013; 31(7): 999–1006; <https://doi.org/10.1002/jor.22324>.
- Vnukov V.V., Panina S.B., Krolevets I.V., Milutina N.P., Ananyan A.A., Zabrodin M.A., Plotnikov A.A. Specificities of oxidative stress in the blood and synovial fluid in knee osteoarthritis. *Advances in Gerontology*. 2015; 5(4): 261–266; <https://doi.org/10.1134/S207905701504014X>.
- Wahl L., Chillon T.S., Seemann P., Ohrndorf S., Ochwaldt R., Becker W., Schomburg L., Hoff P. Serum selenium, selenoprotein P and glutathione peroxidase 3 in rheumatoid, psoriatic, juvenile idiopathic arthritis, and osteoarthritis. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 2025; 135: 109776; <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2024.109776>.
- Wang N., Xie M., Lei G., Zeng C., Yang T., Yang Z., Wang Y., Li J., Wei J., Tian J., Yang T. A Cross-Sectional Study of Association between Plasma Selenium Levels and the Prevalence of Osteoarthritis: Data from the Xiangya Osteoarthritis Study. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*. 2022; 26(2): 197–202; <https://doi.org/10.1007/s12603-022-1739-2>.
- Wang Y., Liu Z., Wu H., Wang C. C-reactive protein as a mediator in the link between cardiometabolic index and osteoarthritis: insights from NHANES 2001-2010. *Lipids in Health and Disease*. 2025; 24(1): 231; <https://doi.org/10.1186/s12944-025-02603-9>.
- Wei W., Qi X., Cheng B., He D., Qin X., Zhang N., Zhao Y., Chu X., Shi S., Cai Q., Yang X., Cheng S., Meng P., Hui J., Pan C., Zhao B., Liu L., Wen Y., Liu H., Jia Y., Zhang F. An atlas of causal association between micronutrients and osteoarthritis. *Preventive Medicine*. 2024; 185: 108063; <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2024.108063>.
- Yan J., Zheng Y., Min Z., Ning Q., Lu S. Selenium effect on selenoprotein transcriptome in chondrocytes. *Biometals*. 2013; 26(2): 285–296; <https://doi.org/10.1007/s10534-013-9610-x>.
- Zhang R., Yang A., Zhang J., Kang W., Li J., Yuan P., Dong B., Shi C., Xiong Y. Expression of 13 selenoprotein genes in osteoarthritis patients by microarray—evidence from a meta-analysis. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2018; 26: S345; <https://doi.org/10.1016/j.joca.2018.02.686>.
- Zhang S., Zhong Y., Wang X., Jiang W., Chen X., Kang Y., Li Z., Liao W., Zheng L., Sheng P., Zhang Z. Association of peripheral inflammatory indicators with osteoarthritis risk. *Osteoarthritis and Cartilage Open*. 2024; 6(3): 100496; <https://doi.org/10.1016/j.ocarto.2024.100496>.
- Zhao Q., Tang Y., Zhang L., Sun N., Liu Q., Zhang R. Biological Functions of Selenoprotein Glutathione Peroxidases (GPXs) and their Expression in Osteoarthritis. *Journal of Inflammation Research*. 2023; 16: 183–196; <https://doi.org/10.2147/JIR.S388934>.

Информация об авторах:

Анатолий Викторович Скальный – д.м.н., профессор, директор Центра Биоэлементологии и Экологии человека¹; зав. кафедрой медицинской элементологии²
E-mail: avskalny@gmail.com; ORCID: 0000-0001-7838-1366

Татьяна Викторовна Коробейникова – к.т.н., зав. лабораторией молекулярной диетологии¹; доцент кафедры медицинской элементологии²
E-mail: tatcvetk@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-1373-6354

Али Фейрузович Алиев – врач травматолог-ортопед, отделение медицинской реабилитации, университетская клиническая больница № 2
E-mail: dr.aliev90@gmail.com

Нелли Игоревна Ремизова – врач физической и реабилитационной медицины, отделение медицинской реабилитации, университетская клиническая больница № 2
E-mail: nelly13m@mail.ru

Галина Дмитриевна Морозова – лаборант лаборатории молекулярной диетологии, Центр биоэлементологии и экологии человека
E-mail: morozova0826@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8600-902X

Константин Сергеевич Терновоей – к.м.н., зав. отделением медицинской реабилитации, университетская клиническая больница № 2
E-mail: Ternovoy_k_s@staff.sechenov.ru

Алексей Анатольевич Коваленко – к.м.н., главный врач Университетской клинической больницы № 5, доцент кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации
E-mail: alexey-kovalenko@yandex.ru

Алексей Алексеевич Тиньков – д.м.н., вед. науч. сотрудник лаборатории молекулярной диетологии¹; профессор кафедры медицинской элементологии²
E-mail: tinkov.a.a@gmail.com; ORCID: 0000-0003-0348-6192

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Финансирование

Исследование поддержано Российским научным фондом (No. 24-45-00073).

SERUM SELENOPROTEIN P LEVEL, GLUTATHIONE PEROXIDASE ACTIVITY, AND OTHER MARKERS OF SELENIUM METABOLISM IN PATIENTS WITH OSTEOARTHRITIS

A.V. Skalny^{1,2}, T.V. Korobeinikova^{1,2}, A.F. Aliyev¹, N.I. Remizova¹, G.D. Morozova¹, K.S. Ternovoy¹, A.A. Kovalenko¹, A.A. Tinkov^{1,2}

¹ Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 8 building, Trubetskaya str., Moscow, 119991, Russian Federation

² Peoples' Friendship University of Russia, 6 Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russian Federation

ABSTRACT. Objective – investigation of selenium (Se) metabolism characteristics in patients with knee osteoarthritis (OA) depending on the presence of comorbid hip osteoarthritis, with assessment of Se levels in biosamples, as well as selenoprotein P (SELENOP) level and glutathione peroxidase (GPX) activity in serum.

Materials and methods. During the study 27 patients with knee OA, 45 patients with comorbid knee and hip OA, as well as 37 healthy subjects were examined. Assessment of serum Se was performed using inductively-coupled plasma mass-spectrometry. Evaluation of serum SELENOP, GPX, and cartilage oligomeric matrix protein (COMP) was performed using enzyme-linked immunosorbent assay. Assessment of C-reactive protein (CRP) levels was performed using immunoturbidimetry.

Results. Serum COMP and CRP levels in patients with knee OA and comorbid knee and hip OA exceeded the control values by 123% and 99%, as well as 69% and 127%, respectively. Similarly, hair Se levels and serum GPX concentration in these groups of patients was higher compared to the respective values in healthy controls by 73% and 41%, as well as 31% and 38%. Only an insignificant trend to a decrease in serum Se levels was observed. At the same time, serum concentration of SELENOP, being the major Se-transporting protein in blood, in patients with knee OA and comorbid knee and hip OA was lower than that in healthy examinees by 18% and 45%, respectively.

Conclusions. It is assumed that an increase in serum GPX levels may be a compensatory response to oxidative stress in cartilage damage, whereas a reduction in serum SELENOP in parallel with a trend to lower circulating Se concentration, may be indicative of the formation of Se deficiency in OA due to higher demands of the organism in Se for biosynthesis of antioxidant selenoproteins like GPX.

KEYWORDS: selenium, selenoproteins, osteoarthritis, knee, hip.

For citation: Skalny A.V., Korobeinikova T.V., Aliyev A.F., Remizova N.I., Morozova G.D., Ternovoy K.S., Kovalenko A.A., Tinkov A.A. Serum selenoprotein P level, glutathione peroxidase activity, and other markers of selenium metabolism in patients with osteoarthritis. Trace elements in medicine. 2025;26(4):15–24. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-4-15-24

REFERENCES

- Skalny A.V., Korobeynikova T.V., Menshikova I.V., Morozova G.D., Sotnikova T.I., Mak D.V., Tinkov A.A. Association of selenium and selenoprotein metabolism characteristics with cartilage damage intensity in patients with rheumatoid, psoriatic, and gouty arthritis. *Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry*. 2025; 28(11): 68–76. (In Russian); <https://doi.org/10.29296/25877313-2025-11-09>.
- Akinmade A., Oginni L.M., Adegbehingbe O.O., Okunlola A.I., Jeje O.A., Adeyeye A.I. Serum cartilage oligomeric matrix protein as a biomarker for predicting development and progression of knee osteoarthritis. *International Orthopaedics*. 2021; 45(3): 551–557; <https://doi.org/10.1007/s00264-021-04943-4>.
- Cao F., Xu Z., Li X.X., Fu Z.Y., Han R.Y., Zhang J.L., Wang P., Hou S., Pan H.F. Trends and cross-country inequalities in the global burden of osteoarthritis, 1990–2019: A population-based study. *Ageing Research Reviews*. 2024; 99: 102382; <https://doi.org/10.1016/j.arr.2024.102382>.
- Chen Z., Zhong H., Wei J., Lin S., Zong Z., Gong F., Huang X., Sun J., Li P., Lin H., Wei B., Chu J. Inhibition of Nrf2/HO-1 signaling leads to increased activation of the NLRP3 inflammasome in osteoarthritis. *Arthritis Research & Therapy*. 2019; 21(1): 300; <https://doi.org/10.1186/s13075-019-2085-6>.
- Cheng H.L., Yen C.C., Huang L.W., Hu Y.C., Huang T.C., Hsieh B.S., Chang K.L. Selenium Lessens Osteoarthritis by Protecting Articular Chondrocytes from Oxidative Damage through Nrf2 and NF- κ B Pathways. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024; 25(5): 2511; <https://doi.org/10.3390/ijms25052511>.
- Cui A., Li H., Wang D., Zhong J., Chen Y., Lu H. Global, regional prevalence, incidence and risk factors of knee osteoarthritis in population-based studies. *EClinicalMedicine*. 2020; 29–30: 100587; <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2020.100587>.
- De Roover A., Escribano-Núñez A., Monteagudo S., Lories R. Fundamentals of osteoarthritis: Inflammatory mediators in osteoarthritis. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2023; 31(10): 1303–1311; <https://doi.org/10.1016/j.joca.2023.06.005>.
- Deng H., Liu H., Yang Z., Bao M., Lin X., Han J., Qu C. Progress of Selenium Deficiency in the Pathogenesis of Arthropathies and Selenium Supplement for Their Treatment. *Biological Trace Element Research*. 2022; 200(10): 4238–4249; <https://doi.org/10.1007/s12011-021-03022-4>.
- Deng X., Tan Y. A national cross-sectional analysis of selenium intake and risk of osteoarthritis: NHANES 2003–2016. *Frontiers in Public Health*. 2023; 10: 1047605; <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1047605>.
- Fan Z., Yan L., Liu H., Li X., Fan K., Liu Q., Li J.J., Wang B. The prevalence of hip osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Arthritis Research & Therapy*. 2023; 25: 51; <https://doi.org/10.1186/s13075-023-03033-7>.
- GBD 2021 Osteoarthritis Collaborators. Global, regional, and national burden of osteoarthritis, 1990–2020 and projections to 2050: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet Rheumatology*. 2023; 5(9): e508–e522; [https://doi.org/10.1016/S2665-9913\(23\)00163-7](https://doi.org/10.1016/S2665-9913(23)00163-7).
- Jacobson G.A., Ives S.J., Narkowicz C., Jones G. Plasma glutathione peroxidase (GSH-Px) concentration is elevated in rheumatoid arthritis: a case-control study. *Clinical Rheumatology*. 2012; 31(11): 1543–1547; <https://doi.org/10.1007/s10067-012-2046-9>.
- Kang D., Lee J., Jung J., Carlson B.A., Chang M.J., Chang C.B., Kang S.B., Lee B.C., Gladyshev V.N., Hatfield D.L., Lee B.J., Kim J.H. Selenophosphate synthetase 1 deficiency exacerbates osteoarthritis by dysregulating redox homeostasis. *Nature Communications*. 2022; 13(1): 779; <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28385-7>.
- Kang D., Lee J., Wu C., Guo X., Lee B.J., Chun J.S., Kim J.H. The role of selenium metabolism and selenoproteins in cartilage homeostasis and arthropathies. *Experimental & Molecular Medicine*. 2020; 52(8): 1198–1208; <https://doi.org/10.1038/s12276-020-0408-y>.
- Kieliszek M., Bano I. Selenium as an important factor in various disease states - a review. *EXCLI Journal*. 2022; 21: 948–966; <https://doi.org/10.17179/excli2022-5137>.
- Kondo F., Takegami Y., Ishizuka S., Hasegawa Y., Imagama S. The association of the progression of knee osteoarthritis with high-sensitivity CRP in community-dwelling people—the Yakumo study. *Clinical Rheumatology*. 2021; 40(7): 2643–2649; <https://doi.org/10.1007/s10067-020-05541-2>.
- Li G., Cheng T., Yu X. The Impact of Trace Elements on Osteoarthritis. *Frontiers in Medicine*. 2021; 8: 771297; <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.771297>.
- Liu L., Luo P., Wen P., Xu P. Effects of selenium and iodine on Kashin-Beck disease: an updated review. *Frontiers in Nutrition*. 2024; 11: 1402559; <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1402559>.
- Liu L., Luo P., Yang M., Wang J., Hou W., Xu P. The role of oxidative stress in the development of knee osteoarthritis: A comprehensive research review. *Frontiers in Molecular Biosciences*. 2022; 9: 1001212; <https://doi.org/10.3389/fmolb.2022.1001212>.
- Loeser R.F., Goldring S.R., Scanzello C.R., Goldring M.B. Osteoarthritis: a disease of the joint as an organ. *Arthritis & Rheumatism*. 2012; 64(6): 1697–1707; <https://doi.org/10.1002/art.34453>.
- Long H., Liu Q., Yin H., Wang K., Diao N., Zhang Y., Lin J., Guo A. Prevalence Trends of Site-Specific Osteoarthritis From 1990 to 2019: Findings From the Global Burden of Disease Study 2019. *Arthritis & Rheumatology*. 2022; 74(7): 1172–1183; <https://doi.org/10.1002/art.42089>.
- Mollazadeh H., Salehi M. A systematic review and meta-analysis of the association between selenium and osteoarthritis. *Immunopathologia Persa*. 2024; 11(1): e40656; <https://doi.org/10.34172/ipp.2024.40656>.
- Musumeci G., Aiello F.C., Szychlinska M.A., Di Rosa M., Castrogiovanni P., Mobasher A. Osteoarthritis in the XXIst century: risk factors and behaviours that influence disease onset and progression. *International Journal of Molecular Sciences*. 2015; 16(3): 6093–6112; <https://doi.org/10.3390/ijms16036093>.
- Paździór M., Kielczykowska M., Kurzepa J., Luchowska-Kocot D., Kocot J., Musik I. The Oxidative Stress in Knee Osteoarthritis Patients. An Attempt of Evaluation of Possible Compensatory Effects Occurring in the Disease Development. *Medicina*. 2019; 55(5): 150; <https://doi.org/10.3390/medicina5505150>.
- Pietschmann N., Rijntjes E., Hoeg A., Stoedter M., Schweizer U., Seemann P., Schomburg L. Selenoprotein P is the essential selenium transporter for bones. *Metallomics*. 2014; 6(5): 1043–1049; <https://doi.org/10.1039/c4mt00003j>.
- Pyrzyńska K. Determination of selenium species in environmental samples. *Microchimica Acta*. 2002; 140(1): 55–62; <https://doi.org/10.1007/s00604-002-0893-9>.
- Schomburg L. Selenoprotein P – Selenium transport protein, enzyme and biomarker of selenium status. *Free Radical Biology and Medicine*. 2022; 191: 150–163; <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2022.08.022>.

Skalny A.V., Simashkova N.V., Skalnaya A.A., Klyushnik T.P., Björklund G., Skalnaya M.G., Tinkov A.A. Assessment of gender and age effects on serum and hair trace element levels in children with autism spectrum disorder. *Metabolic Brain Disease*. 2017; 32(5): 1675–1684; <https://doi.org/10.1007/s11011-017-0056-7>.

Smith M.M., Melrose J. COMP Is a Biomarker of Cartilage Destruction, Extracellular Matrix and Vascular Remodeling and Tissue Repair. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025; 26(18): 9182; <https://doi.org/10.3390/ijms26189182>.

Sun W., Wang X., Zou X., Song R., Du X., Hu J., Xiong Y. Selenoprotein P gene r25191g/a polymorphism and quantification of selenoprotein P mRNA level in patients with Kashin-Beck disease. *British Journal of Nutrition*. 2010; 104(9): 1283–1287; <https://doi.org/10.1017/S0007114510002199>.

Tinkov A.A., Skalny A.V., Guo X., Korobeinikova T.V., Ning Y., Rocha J.B.T., Zhang F., Aschner M. Review of the Protective Effects of Selenium against T-2 Toxin-Induced Toxicity. *Chemical Research in Toxicology*. 2025; 38(6): 975–996; <https://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.5c00095>.

Turrubiates-Hernández F.J., Márquez-Sandoval Y.F., González-Estevez G., Reyes-Castillo Z., Muñoz-Valle J.F. The Relevance of Selenium Status in Rheumatoid Arthritis. *Nutrients*. 2020; 12(10): 3007; <https://doi.org/10.3390/nu12103007>.

Verma P., Dalal K. Serum cartilage oligomeric matrix protein (COMP) in knee osteoarthritis: a novel diagnostic and prognostic biomarker. *Journal of Orthopaedic Research*. 2013; 31(7): 999–1006; <https://doi.org/10.1002/jor.22324>.

Vnukov V.V., Panina S.B., Krolevets I.V., Milutina N.P., Ananyan A.A., Zabrodin M.A., Plotnikov A.A. Specificities of oxidative stress in the blood and synovial fluid in knee osteoarthritis. *Advances in Gerontology*. 2015; 5(4): 261–266; <https://doi.org/10.1134/S207905701504014X>.

Wahl L., Chillon T.S., Seemann P., Ohrndorf S., Ochwaldt R., Becker W., Schomburg L., Hoff P. Serum selenium, selenoprotein P and glutathione peroxidase 3 in rheumatoid, psoriatic, juvenile idiopathic arthritis, and osteoarthritis. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 2025; 135: 109776; <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2024.109776>.

Wang N., Xie M., Lei G., Zeng C., Yang T., Yang Z., Wang Y., Li J., Wei J., Tian J., Yang T. A Cross-Sectional Study of Association between Plasma Selenium Levels and the Prevalence of Osteoarthritis: Data from the Xiangya Osteoarthritis Study. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*. 2022; 26(2): 197–202; <https://doi.org/10.1007/s12603-022-1739-2>.

Wang Y., Liu Z., Wu H., Wang C. C-reactive protein as a mediator in the link between cardiometabolic index and osteoarthritis: insights from NHANES 2001–2010. *Lipids in Health and Disease*. 2025; 24(1): 231; <https://doi.org/10.1186/s12944-025-02603-9>.

Wei W., Qi X., Cheng B., He D., Qin X., Zhang N., Zhao Y., Chu X., Shi S., Cai Q., Yang X., Cheng S., Meng P., Hui J., Pan C., Zhao B., Liu L., Wen Y., Liu H., Jia Y., Zhang F. An atlas of causal association between micronutrients and osteoarthritis. *Preventive Medicine*. 2024; 185: 108063; <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2024.108063>.

Yan J., Zheng Y., Min Z., Ning Q., Lu S. Selenium effect on selenoprotein transcriptome in chondrocytes. *Biometals*. 2013; 26(2): 285–296; <https://doi.org/10.1007/s10534-013-9610-x>.

Zhang R., Yang A., Zhang J., Kang W., Li J., Yuan P., Dong B., Shi C., Xiong Y. Expression of 13 selenoprotein genes in osteoarthritis patients by microarray-evidence from a meta-analysis. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2018; 26: S345; <https://doi.org/10.1016/j.joca.2018.02.686>.

Zhang S., Zhong Y., Wang X., Jiang W., Chen X., Kang Y., Li Z., Liao W., Zheng L., Sheng P., Zhang Z. Association of peripheral inflammatory indicators with osteoarthritis risk. *Osteoarthritis and Cartilage Open*. 2024; 6(3): 100496; <https://doi.org/10.1016/j.ocarto.2024.100496>.

Zhao Q., Tang Y., Zhang L., Sun N., Liu Q., Zhang R. Biological Functions of Selenoprotein Glutathione Peroxidases (GPXs) and their Expression in Osteoarthritis. *Journal of Inflammation Research*. 2023; 16: 183–196; <https://doi.org/10.2147/JIR.S388934>.

Information about the authors:

Anatoly V. Skalny – Dr.Sc. (Med.), Professor, Director of the Center for Bioelementology and Human Ecology¹;
Head of the Department of Medical Elementology²
E-mail: avskalny@gmail.com; ORCID: 0000-0001-7838-1366

Tatiana V. Korobeinikova – Ph.D. (Tech.), Head of the Laboratory of Molecular Dietetics,
Center for Bioelementology and Human Ecology¹; Associate Professor of the Department of Medical Elementology²
E-mail: tatevetk@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-1373-6354

Ali F. Aliyev – Traumatologist Orthopedist, Department of Medical Rehabilitation, University Clinical Hospital № 2
E-mail: dr.aliyev90@gmail.com

Nelli I. Remizova – Physiatrist, Department of Medical Rehabilitation, University Clinical Hospital № 2
E-mail: nelly13m@mail.ru

Galina D. Morozova – Laboratory Assistant, Laboratory of Molecular Dietetics,
Center for Bioelementology and Human Ecology
E-mail: morozova0826@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8600-902X

Konstantin S. Ternovoy – Ph.D. (Med.), Head of Department of Medical Rehabilitation,
University Clinical Hospital № 2
E-mail: Ternovoy_k_s@staff.sechenov.ru

Alexey A. Kovalenko – Ph.D. (Med.), Director of University Clinical Hospital № 2,
Associate Professor of the Department of Sports Medicine and Medical Rehabilitation
E-mail: alexey-kovalenko@yandex.ru

Alexey A. Tinkov – Dr.Sc. (Med.), Principal Investigator of the Center for Bioelementology and Human Ecology¹;
Professor of the Department of Medical Elementology²
E-mail: tinkov.a.a@gmail.com; ORCID: 0000-0003-0348-6192

Conflict of interest

The authors declare no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Funding

The study was performed with the financial support of the Russian Science Foundation (project No. 24-45-00073).

Поступила 10 ноября 2025 года
Принята к публикации 1 декабря 2025 года

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

TAMARIX SPECIES AS A SECONDARY SELENIUM ACCUMULATORS:
THE IMPORTANCE IN HUMAN NUTRITION AND MEDICINE

Nadezhda Golubkina¹, Fedor Golubev², Vladimir Lapchenko³,
Helene Lapchenko³, Tatiana Naumenko⁴, Natalia Bagrikova⁴,
Nikolay Pirogov⁵, Irina Pavlova⁶, Otilia Cristina Murariu⁷, Gianluca Caruso⁸

¹ Federal Scientific Vegetable Center;
Moscow region, 143072, Russian Federation

² Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS; Moscow, Russian Federation

³ T.I. Viazemsky Karadag scientific station – Nature reserve of RAS;
Feodosia, Crimea, 298188, Russian Federation

⁴ FSBSI «Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center RAS»;
Nikita, Crimea, 298648, Russian Federation

⁵ Bogdinsko-Baskunchak Nature Reserve;
Akhtubinsk, 416532, Russian Federation

⁶ Tsitsin Main Botanical Garden RAS;
Moscow, 127276, Russian Federation

⁷ Department of Food Technologies, “Ion Ionescu de la Brad” Iasi University of Life Sciences;
700490 Iasi, Romania

⁸ Department of Agricultural Sciences, University of Naples Federico II;
80055 Naples, Italy

ABSTRACT. Many species of the Tamaricaceae family are medicinal plants capable to accumulate high levels of macro- and micro- elements. To evaluate the ability of these plants to accumulate selenium (Se) in temperate climate and Southern areas of Russia several *Tamaricaceae* representatives (*Tamarix ramosissima*, *T. tetrandra*, *T. litwinowii*, *T. hohenackeri*, and *Myricaria bracteata*) were investigated. The highest Se levels (1276–6235 $\mu\text{g kg}^{-1}$ d.w.) were registered in *T. tetrandra* from the Crimean southern sea shore (Karadag and Yalta), in *T. ramosissima* from the Baskunchak Nature Reserve (Astrakhan region, 1015 $\mu\text{g kg}^{-1}$ d.w.), and *Myricaria* (Ossetia, 676 mcg kg^{-1} d.w.), contrary to the Tsitsin Main Botanic Garden collection (*T. ramosissima*, *T. litwinowii*, *T. hohenackeri*) grown on Se deficient soils (soil Se was equal to 240 $\mu\text{g kg}^{-1}$ d.w.; plant Se concentrations 44–55 $\mu\text{g kg}^{-1}$ d.w.). The results confirm the belonging of *Tamarix* species to the group of secondary selenium accumulators and indicate high significance of *T. tetrandra* and *T. ramosissima* from the Crimean peninsula and Astrakhan region in the human Se status optimization due to not only high Se levels but also to high antioxidant activity (86–135 mg GAE g^{-1} d.w.) and polyphenol content (14.5–31.4 mg GAE g^{-1} d.w.). Half of the Se RDA level (35 $\mu\text{g day}^{-1}$) may be provided by the consumption of 5 g of the *Tamarix* leaves from the Karadag Nature Reserve, 30 g – from Yalta, 35 g – from the Baskunchak Nature Reserve and 60 g of *Myricaria bracteata* leaves from Ossetia. The results confirm the pharmacological importance of *Tamarix* leaves from the southern regions of Russia due to the significant content of biologically available Se and natural antioxidants.

KEYWORDS: *T. tetrandra*, *T. ramosissima*, *Myricaria bracteata*, *T. litwinowii*, *T. hohenackeri*, selenium, antioxidant status, environment.

For citation: Golubkina N., Golubev F., Lapchenko V., Lapchenko H., Naumenko T., Bagrikova N., Pirogov N., Pavlova I., Murariu O.C., Caruso G. *Tamarix* species as a secondary selenium accumulators: the importance in human nutrition and medicine. *Trace elements in medicine*. 2025;26(4):25–34. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-4-25-34

INTRODUCTION

Human Se deficiency is widespread in many regions around the world affecting about 1 billion people (Jones et al., 2017), which causes the immunity and the antioxidant status decrease, brain activity and reproduction problems, reduces anti-viral pro-

tection, cardiovascular and oncological diseases, and shortening life expectancy (Genchi et al., 2023; Bai et al., 2025). The problem of the human Se deficiency has worsened during the last years due to the increase of the oxidative stress caused by the intensive environmental pollution, global warming, increase

* Адрес для переписки:

Голубкина Надежда Александровна
E-mail: segolubkina45@gmail.com

© Микроэлементы в медицине/Trace elements in medicine, 2025

DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-4-25-34

of solar activity, wars, import rejection of cereals rich in Se from endemic regions of the world, and a significant decrease of welfare of nations. Exclusive utilization of domestic wheat in Russia since 2016 with Se levels 3-7 times lower than wheat of USA, Canada and Australia (Golubkina, Alfthan, 1999) caused a dramatic decrease of the human Se status in the country with serum Se decrease 1.25 times in Moscow region and to almost twice in Se deficient Khabarovsk land reaching the critical levels of $45 \mu\text{g L}^{-1}$ (Kovalsky et al., 2019).

Among different approaches to combat the problem of Se deficiency, such as utilization of Se fertilizers (Alfthan et al., 2015), Se biofortification of vegetables and leafy crops (Sarwar, 2020; Skrypnik et al., 2024; Golubkina et al., 2024), utilization of Se-containing premixes in animal breeding and poultry (Sirai et al., 2018), the development of new Biologically Active Supplements containing Se (Sun et al., 2023), synthesis of Se containing amino acids – mimetics of glutathione peroxidase (Poluboyarinov et al., 2022), and utilization of wild plant species with significant Se accumulation ability the latter seems to be especially interesting due to high content of other natural antioxidants, and extremely low cost for the production of the appropriate product.

Despite several attempts to identify new Se accumulators (Golubkina et al., 2020) little is known about the suitability of Tamaricaceae representatives as a source of Se in human nutrition.

Tamarix (tamarisk) genus of the Tamaricaceae family includes 78 species with relatively high adaptability and quick growth recording vast distribution of the plants both in subtropical and temperate areas of the world with different levels of water availability, salinity levels and mean temperature variations (Christenhusz, Byng, 2016). These plants belong to halophyte representatives with a unique property to excrete salt excess via special leaf glands and to develop deep roots of up to 30 m, providing plant survival in severe conditions of high salinity and water deficit (Sookbirsingh, 2010; Sedlakova-Kadukova et al., 2008; Samadi et al., 2013). Though *Tamarix* shows wide spectrum of utilization as an ornamental (Guerrero et al., 2016), and an anti-erosion plant stabilizing sand dunes (Han et al., 2013), a plant suitable for phytoremediation of soils polluted with heavy metals (Sedlakova-Kadukova et al., 2008; Fawzy et al., 2006), a valuable remedy in traditional medicine, and a component of spices and potables (Guerrero et al., 2016; Bahramsoltani et al.,

2020), it is considered to be an aggressive weed capable to decrease bioavailability due to intensive allelopathic properties (Meinhardt et al., 2015).

Being considered an aggressive weed in USA and several other countries of the world (Meinhardt et al., 2015) *Tamarix* displays at the same time unique medicinal properties highly valued in traditional medicine as an anti-diabetic, anti-carcinogenic, bactericidal, wound healing, anti-infectious, anti-inflammatory, liver, and spleen protection remedy (Abdelgawad, 2017; Chen et al., 2017; Li et al., 2024). It should be specially mentioned that all parts of plant (leaves, bark, roots, flowers) record significant antioxidant and biological activity connected primarily with high levels of polyphenols (Bahramsoltani et al., 2020).

Up to date, the ability of *Tamarix* to accumulate high levels of macro- and micro- elements was investigated regarding the possibility of phytoremediation of the territories polluted with heavy metals and radionuclides (Sedlakova-Kadukova et al., 2008). The ability of *Tamarix* to accumulate high levels of Se has been documented for Kazakhstan plants grown in semi-desert conditions regardless of their species identity (Suska-Malawska et al., 2019). This fact supposes the possibility of *Tamarix* utilization in programs of the human Se status optimization.

The attractiveness of such an approach lies in quick *Tamarix* growth and the well-known synergism of Se with natural antioxidants, among which polyphenols are the main biologically active components in this genus plants (Bencherif et al., 2020). Nevertheless, up to date, no data exist concerning Se accumulation levels in *Tamarix* grown both in temperate climate and the Southern part of Russia and about the prospects of such plant utilization as a source of dietary Se and antioxidants. *T. ramosissima*, *T. tetrandra*, *T. hohenackeri*, *T. gracilis*, and *T. gallica* are the main *Tamarix* species of the southern regions of Russia while *T. ramosissima*, *T. hohenackeri*, and *T. linwinowii* compose a *Tamarix* collection of the Tsitsin Main Botanic Garden in Moscow (Kostina et al., 2020).

The present investigation aimed: (i) to evaluate the ability of *Tamarix* species (*T. ramosissima*, *H. hohenackeri*, and *T. linwinowii*) to accumulate Se in temperate zone (Moscow), (ii) indicate the values of *Tamarix* Se accumulation at the Crimean peninsula (*T. tetrandra*), Astrakhan region (*T. ramosissima*), and of *Myricaria bracteata* in Ossetia, and (iii) reveal the levels of plant antioxidant status in these conditions.

MATERIAL AND METHODS

Sample Preparation

Research was carried out to assess Se and antioxidant status in *Tamarix* species: *T. ramosissima* Ledeb., *T. hohenackeri* Bunge, and *T. litwinowii* Gorschk. grown in the Tsitsin Main Botanic Garden of Moscow, *T. ramosissima* from Astrakhan region (the semi-desert area; Baskunchak Nature Reserve) (Figure 1), *T. tetrandra* Pall. ex M. Bieb from the Crimean Peninsula, and of *Myricaria bracteata* Royle (Tamaricaceae family) from the Northern Caucasus (Table 1; Figure 1).

Leaves of the *Tamarix* species analyzed were gathered from plants grown in August 2023-2024. The objects of the investigation and geographical coordinates of sampling places are presented in Table 1. The leaves were dried to constant weight at room temperature and after additional homogenization of probes the obtained powders were used for the determination of Se, the total antioxidant activity (AOA), and polyphenol (TP) content. Utilization of dried leaf samples provided the opportunity to use representative probes which is extremely important due to small sample weight used in the analysis.

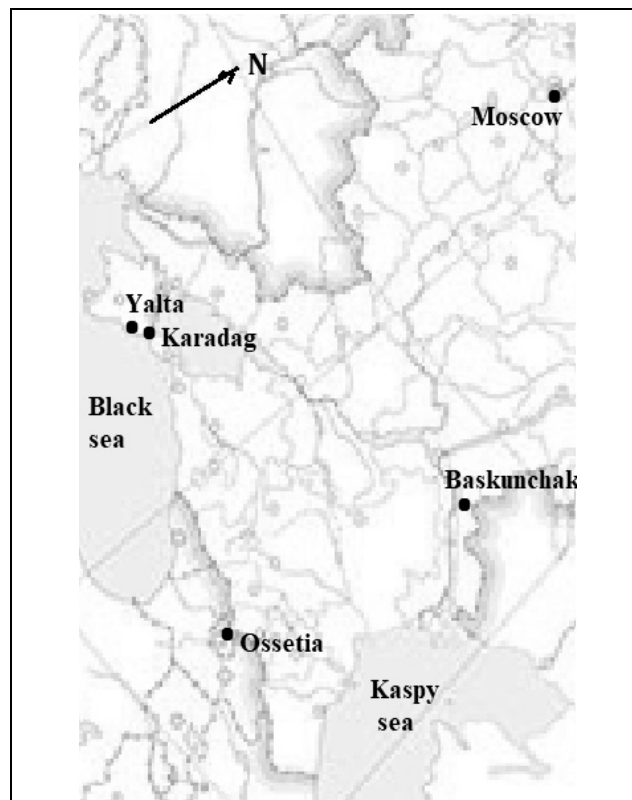


Figure 1. Locations of *Tamarix* sampling places

Table 1. **Objects of the investigation and sampling locations**

Sampling place	Objects of investigation	Geographical coordinates	Mean temperature (°C)	Mean precipitation (mm)	Mean soil Se ($\mu\text{g kg}^{-1}$ d.w.)	Climate
Moscow, MBG*	<i>T. ramosissima</i> <i>T. litwinowii</i> <i>T. hohenackeri</i>	55°49'15" N, 37°37'30" E	3.2-4.6 (-1)-(+19)	550-560	220-240	Moderate continental
BNR**	<i>T. ramosissima</i>	48°12'42" N; 46°52'50" E	(-40)-(40)	220-270	354-724	Semi-arid
Karadag	<i>T. tetrandra</i>	44°54'43.81"N; 35°12'4.77"E	12.1 (+1.5)-(23.8)	<500	400-630	Transitional***
Yalta		44°29'58"N; 34°09'19" E	13.8 (+5)-(25)	609	450	Mediterranean
Ossetia	<i>Myricaria bracteata</i>	42°41'36" N; 43°58'30" E	(-16)-(24)	900	210-490	Moderate continental

Note: *MBG – The Tsitsin Main Botanic Garden of Moscow; **BNR – Bogdinsko-Baskunckac Nature Reserve; *** – from Mediterranean to moderate continental.

Selenium

Plant Se was analyzed using the microfluorimetric method according to Alfthan (Alfthan, 1984). Dried homogenized samples were digested via heating with a mixture of nitric and perchloric acids, subsequently, selenate (Se^{+6}) was reduced to selenite (Se^{+4}) with a solution of 6 N HCl, and a complex between Se^{+4} and 2,3-diaminonaphthalene (piazoselenol) in the presence of 1.25 % EDTA solution was used for the quantitative Se assessment.

The calculation of the Se concentration was done by recording the piazoselenol fluorescence value in hexane at 519 nm λ emission and 376 nm λ excitation. Each determination was performed in triplicate. The precision of the results was verified using the Mitsuba reference standard of Se-fortified stem powder in each determination, with a Se concentration of 1865 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (Federal Scientific Vegetable Center). The detection limit of the method was 0.8 ng per probe.

Preparation of Ethanolic Extracts

Half a gram of dry homogenized leaf powder was extracted with 20 mL of 70% ethanol at 80 °C over 1 h. The mixture was cooled down and quantitatively transferred to a volumetric flask, and the volume was adjusted to 25 mL. The mixture was filtered through a filter paper and used further for the determination of polyphenols and total antioxidant activity.

Total Polyphenols (TP)

Total polyphenols were determined in 70% ethanol extracts of dried samples using the Folin–Ciocâlțeu colorimetric method as previously described (Golubkina et al., 2020a). Half a gram of dry homogenates was extracted with 20 mL of 70% ethanol/water at 80 °C for 1 h. The mixture was cooled down and quantitatively transferred to a volumetric flask, and the volume was adjusted to 25 mL. The latter mixture was filtered through a filter paper, and 1 mL of the resulting solution was transferred to a 25 mL volumetric flask, to which 2.5 mL of saturated Na₂CO₃ solution and 0.25 mL of diluted (1:1) Folin–Ciocâlțeu reagent were added. After adjusting the volume to 25 mL with distilled water the solutions were kept at room temperature for 1 h., and the concentration of polyphenols was calculated according to the absorption of the reaction mixture at 730 nm. As an external standard, 0.02% gallic acid was used. The results were expressed as mg of gallic acid equivalent per g of dry weight (mg GAE g⁻¹ d.w.).

Antioxidant Activity (AOA)

The antioxidant activity of *Tamarix* leaves and bark was assessed on 70% ethanolic extracts of dry samples using a redox titration method (Golubkina et al., 2020a). The values were expressed in mg gallic acid equivalents per g of dry weight (mg GAE g⁻¹ d.w.).

Statistical Analysis

The presented results are the mean values of three replicates of each sample. The data were processed by the analysis of variance (ANOVA) and the Principal Component Analysis (PCA) and mean separations were performed through Duncan's multiple range test, with reference to the 0.05 probability level, using the SPSS software version 28.

RESULTS AND DISCUSSION

Selenium Accumulation

The comparison of Se accumulation levels by *Tamarix* leaves from the Tsitsin Main Botanic Garden of Moscow with other *Tamarix* species from the Southern regions of Russia: semi-desert of Baskunchak Nature Reserve, Mediterranean zone of Yalta

and Karadag, and with *Myricaria bracteata* of Caucasus Ossetia indicated significant relationship between the Se accumulation and the place of habitat and showed species differences in the ability to accumulate Se (Figure 2). Indeed, among *T. ramosissima*, *T. hohenackeri*, and *T. litwinowii* grown in the Tsitsin Main Botanic Garden of Moscow with Se concentration range of 0.044–0.055 mg kg⁻¹ d.w., *T. ramosissima* demonstrated the lowest Se level while in conditions of high soil salinity at the territory of Bogdinsko-Baskunchak Nature Reserve this plant provided 25 times higher leaf Se concentrations. Contrary, Se was not detected in *T. ramosissima* of Uzbekistan (Valizhonova, 2023) which may relate to the extremely high temperature during leaf drying (600 °C) resulting in dramatic losses of volatile Se.

The above-mentioned results were in accordance with the literature data about a broad Se concentration range recorded for *T. ramosissima* grown in USA from less than 0.100 up to 1.89 mg kg⁻¹ d.w. (Sorensen et al., 2009). Furthermore, the latter authors demonstrated that at an average of 1.250 mg Se kg⁻¹ d.w., Se-treated *T. ramosissima* had as much Se as hyperaccumulator plants (plants that accumulate > 1.000 mg Se kg⁻¹ f.w.) (Reeves, Baker, 2002), which suggests high *Tamarix* plasticity and adaptability.

On the other hand, not only the value of soil bioavailable Se affect the accumulation of the element in plant tissues. Indeed, the intensity of solar radiation effect on the levels of Se accumulation may vary considerably depending on the environmental conditions, and species differences (Germ et al., 2005). Different investigations suggest that increased solar radiation can lead to higher Se accumulation in certain plant species, particularly under Se-rich condition, though the amount of soil bioavailable Se effect dominates.

Among different *Tamarix* species, *T. ramosissima* is the most studied due to its wide distribution worldwide (Sultanova et al., 2001). Contrary, Se accumulation by *T. hohenackeri*, *T. litwinowii*, and *Myricaria bracteata* has never been described previously. In any case, the results prove high dependence of plant Se concentrations on geochemical peculiarities. In this respect, the Crimean and the Baskunchak Nature Reserve *Tamarix* species seem to be the most powerful sources of Se capable to accumulate from 0.6 to 6.0 mg Se kg⁻¹ d.w. contrary to the species grown in Moscow region with relatively low content of the element in soils (about 240 μg kg⁻¹ d.w.) and in *Tamarix* leaves (Figure 2).

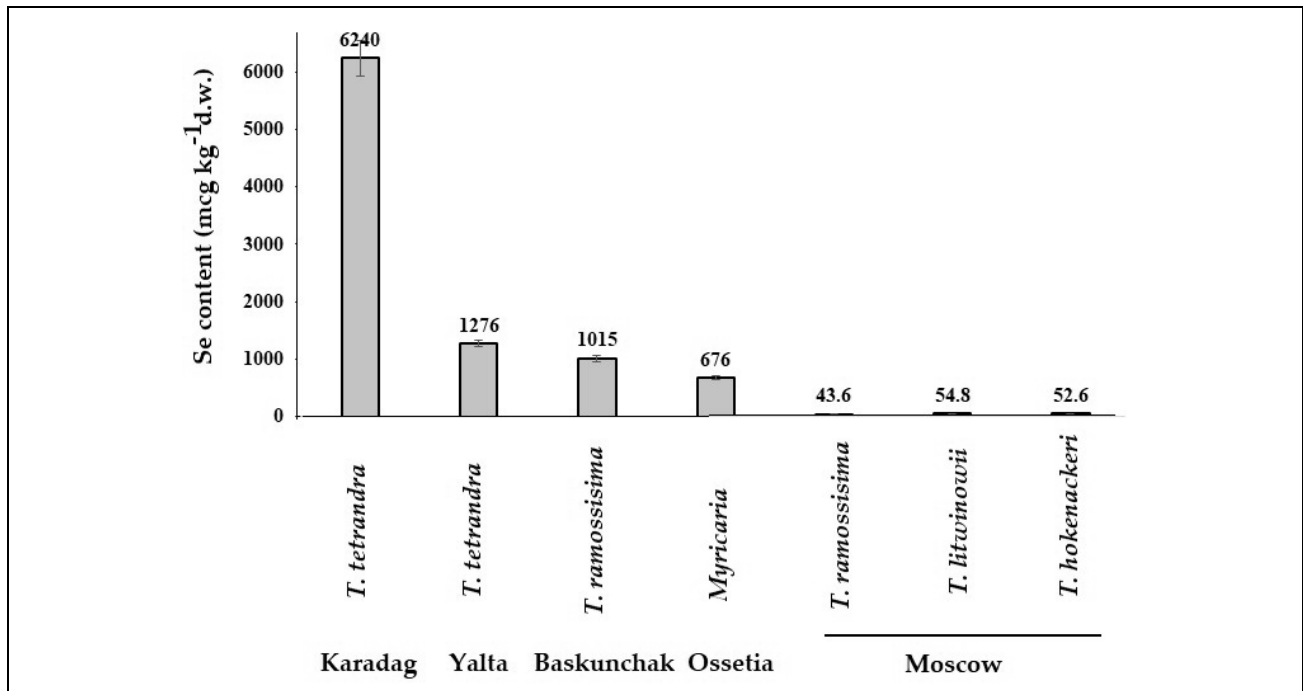


Figure 2. Selenium accumulation in leaves of *Tamarix* species gathered in Moscow, at the Southern shore of the Crimea (Karadag, Yalta), semi-desert territory of the Baskunchak Nature Reserve (BNR), and of *Myricaria bracteata* from Ossetia. The data presents mean values obtained from 6 plants

Thus, among the tested *Tamarix* species from the southern regions, *T. tetrandra* showed Se concentration up to 6235 $\mu\text{g kg}^{-1}$ d.w. at the territory of ancient volcano (Karadag) which was 5 times higher compared to the Se levels in leaves of *T. tetrandra* grown in Yalta. In Serbia *T. tetrandra* plants were able to accumulate up to 16 mg Se kg^{-1} d.w. of leaves in conditions of the restoration of chronosequence fly ash deposits (Kostic et al., 2022).

The revealed differences in Se accumulation entails that *Tamarix* plants belong to a group of Se indicators or secondary accumulators (White, 2016), capable to accumulate high levels of this microelement in regions with high soil selenium content. In this respect 50% of Se RDA may be compensated by the consumption of 5 g of the *Tamarix* leaves from Karadag, 30 g from Yalta, 35 g from Baskunchak and 60 g of the *Myricaria bracteata* leaves from Ossetia.

As far as the Crimea is concerned, the extremely high variability in the content of Se may be connected with the uneven distribution of elements in the mountainous areas. Thus, the previous results on the effect of habitat on this parameter in *Allium ursinum* of the Chechen republic, where Se content was in the range of 41–1775 $\mu\text{g kg}^{-1}$ d.w. (10 settlements) (Amagova et al., 2020), indicates the differences reaching 43 times! For *T. ramosissima* the dif-

ferences were equal to 23.3 times, and 4.9 times for *T. tetrandra*. Analogically, great variations in the Se content in the *Tamarix* species of Kazakhstan reached 15 and the Se concentrations in plant leaves were in the range of 0.42–6.31 mg kg^{-1} d.w. with $M \pm SD$ equal to 2.19 \pm 1.64 mg kg^{-1} d.w. (the CV value was 74.9%). In this respect, plants of the Se indicator group may be used in the monitoring of the Se status in the environment. In USA the registered Se concentration range in *T. ramosissima* was equal to (<0.136–1.809 mg kg^{-1} d.w.) (Sorensen et al., 2009).

Parameters of Antioxidant Status

The significance of high Se levels in leaves of *Tamarix* from the southern regions of Russia is strengthened by the high antioxidant status of both leaves and bark of *Tamarix* species (Figure 3), as it is well known that Se demonstrates a synergism with natural antioxidants (Ikram et al., 2024).

The results presented on Figure 7 indicate high levels of the total antioxidant activity and the polyphenol content in leaves of all *Tamarix* species tested regardless of the place of habitat which was in accordance with the *Tamarix* antioxidant status evaluation for plants grown in Kazakhstan. According to literature data, 50% acetone extract showed 5.84–6.9% of phenolic acids in Kazakhstan *Tamarix hokenackeri* stems and leaves and 6.32–6.81% for

T. ramosissima with the corresponding 2.76–3.51% of flavonoids (Bikbulatova, Korul'kina, 2001). Investigation of Karpova et al (Karpova et al, 2025) demonstrated high polyphenol content also in *Miricaria* species. According to this study, *Myricaria* extracts contain flavonoid aglicones, ellagic acid and its derivatives. High polyphenol content was indicat-

ed previously in *T. ramosissima* grown in Kazakhstan with tamarixetin (3,3,5,7-tetrahydroxy-4-methoxyflavone) as the main leaf flavonoid (Sultanova et al., 2001).

In this respect, it is important mentioning that *Tamarix litwinowii* Gorschk antioxidant status has been described in the present work for the first time.

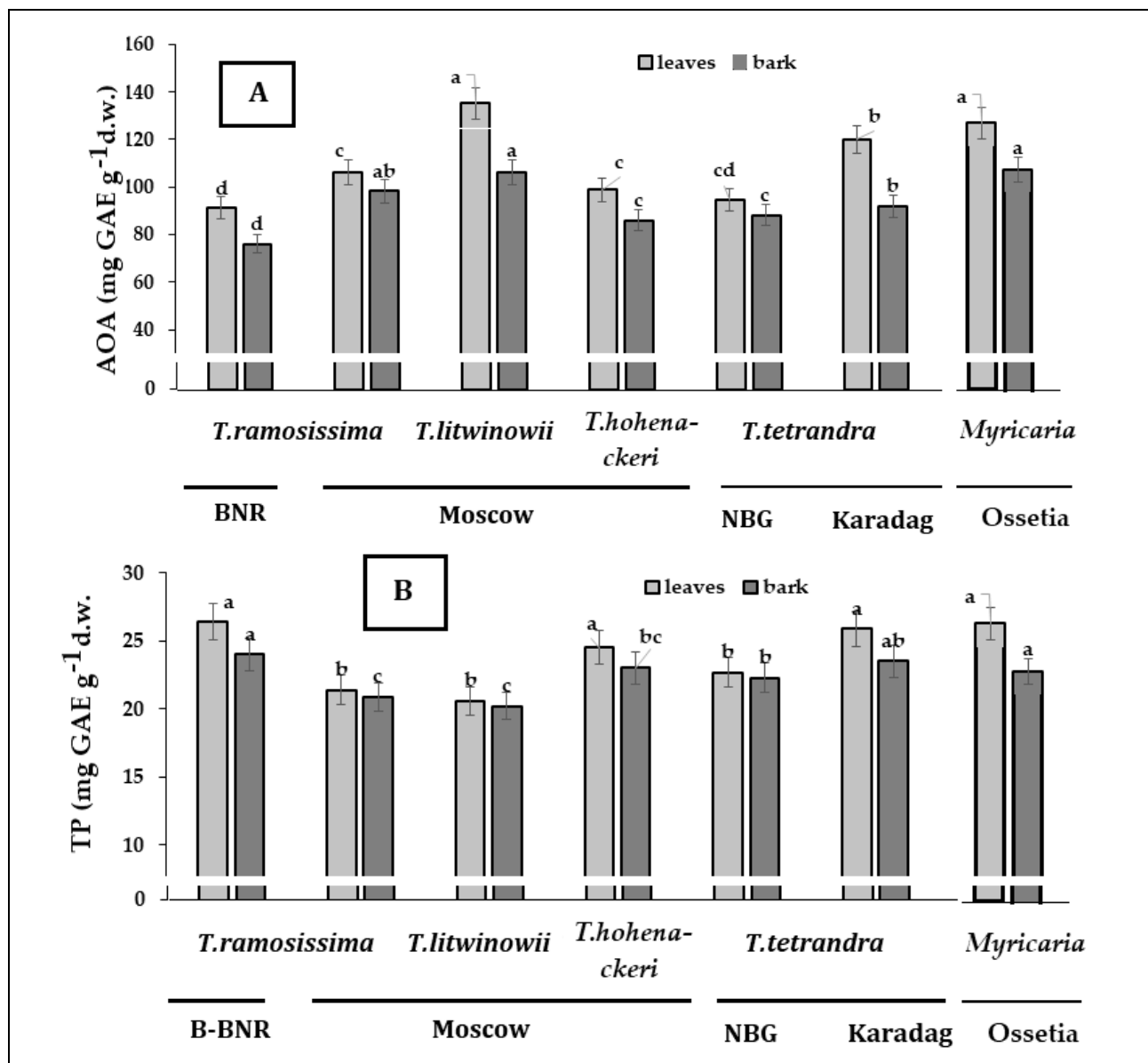


Figure 3. Antioxidant activity (A) and polyphenol (B) content in leaves and bark of *Tamarix* species grown in various conditions.

BNR: Bogdinsko-Baskunchak Nature Reserve; NBG: Nikitski Botanic Garden (Crimea); TP: total polyphenols; AOA: total antioxidant activity. For each plant part, values with the same letters do not differ statically according to Duncan test at p<0.05

CONCLUSIONS

The revealed differences in the Se accumulation by 5 Tamaricaceae representatives tested indicate high utilization prospects of plants grown in the southern regions of Russia as a valuable source of

dietary selenium and natural antioxidants. High tolerance of *Tamarix* and *Myricaria* to elevated concentrations of the element in the environment supposes the possibility of Se biofortification of plants grown in moderate climate with low soil Se which might be

come the basis of new functional food production of human health.
valuable both in human nutrition and the maintenance

REFERENCES

- Abdelgawad A.A.M. *Tamarix nilotica* (Ehrenb) Bunge: A Review of Phytochemistry and Pharmacology. *Microb Biochem Technol.* 2017; 9(1): 544–552. DOI: 10.4172/1948-5948.1000340.
- Alfthan G., Eurola M., Ekholm P., Venäläinen E.-R., Root T., Korkalainen K., Hartikainen H., Salminen P., Hietaniemi V., Aspila P. Aro A. Effects of nationwide addition of selenium to fertilizers on foods, and animal and human health in Finland: From deficiency to optimal selenium status of the population. *J Trace Elem Med Biol.* 2015; 31: 142–147; <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.04.009>.
- Alfthan G.V. A micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry. *Anal. Chim. Acta.* 1984; 165: 187–194.
- Amagova Z., Golubkina N., Matsadze V., Elmurzaeva F., Muligova R., Caruso G. Biochemical characteristics of *Allium ursinum* L. sprouts as affected by the growing location in Chechen republic Italus Hortus. 2020; 27(2): 66–81. DOI: 10.26353/j.itahort/2020.2.6681.
- Bahramsoltani R., Kalkhorani M., Zaidi S.M.A., Farzaei M.H., Rahimi R. The genus *Tamarix*: Traditional uses, phytochemistry, and pharmacology. *J. Ethnopharmacol.* 2020; 246: 112245; <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112245>.
- Bai S., Zhang M., Tang S., Li M., Wu R., Wan S., Chen L., Wei X., Feng S. Effects and Impact of Selenium on Human Health, A Review. *Molecules.* 2025; 30: 50; <https://doi.org/10.3390/molecules30010050>.
- Bencherif K., Trodi F., Hamidi M., Dalpè Y., Hadj-Sahraoui A.L. Biological overview and adaptability strategies of *Tamarix* plants, *T. articulata* and *T. gallica* to abiotic Stress. In *Plant Stress Biology*; Giri B., Sharma M.P., Eds.; Springer: Singapore. 2020; 401–433; https://doi.org/10.1007/978-981-15-9380-2_14ffhal-04362376.
- Bikbulatova T.N., Korul'kina L.M. Composition of *Tamarix hokenakeri* and *T. ramosissima* *Chem. Nat. Comp.* 2001; 37(3): 216–218. DOI:10.1023/a:1012501620145.
- Chen R., Yang Y., Xu J., Pan Y., Zhang W., Xing Y., Ni H., Sun Y., Hou Y., Li N. *Tamarix hohenackeri* Bunge exerts anti-inflammatory effects on lipopolysaccharide-activated microglia *in vitro*. *Phytomedicine.* 2017; 40: 10–19. DOI: 10.1016/j.phymed.2017.12.035.
- Christenhusz M.J.M., Byng J.W. The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa.* Magnolia Press. 2016; 261(3): 201–217.
- Fawzy E.M., Soltan M.E., Sirry S.M. Mobilization of different metals between *Tamarix* parts and their crystal salts/soil system at the banks of river Nile, Aswan, Egypt. *Toxicol Environ. Chem.* 2006, 88(4): 603–618.
- Genchi G., Lauria G., Catalano A., Sinicropi M.S., Carocci A. Biological Activity of Selenium and Its Impact on Human Health. *Int J Mol Sci.* 2023; 24(3): 2633. DOI: 10.3390/ijms24032633.
- Germ M., Kreft I., Osvald J. Influence of UV-B exclusion and selenium treatment on photochemical efficiency of photosystem II, yield and respiratory potential in pumpkins (*Cucurbita pepo* L.), *Plant Physiol. Biochem.* 2005; 43(5): 445–448; <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2005.03.004>.
- Golubkina N., Kharchenko V., Moldovan A., Sannino M., Caruso G. Effect of Selenium and Garlic Extract Treatments of Seed-Addressed Lettuce Plants on Biofortification Level, Seed Productivity and Mature Plant Yield and Quality. *Plants.* 2024; 13(9): 1190.
- Golubkina N., Lapchenko V., Ryff L., Lapchenko H., Naumenko T., Bagrikova N., Krainuk K., Kosheleva O., Caruso G. Medicinal plants as sources of selenium and natural antioxidants. *Banats J Biotechnol.* 2020; XI (22): 48–59. DOI: 10.7904/2068-4738-XI(22)-48.
- Golubkina N.A., Alfthan G.V. The human selenium status in 27 regions of Russia. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 1999; 13(1-2): 15–20. DOI: 10.1016/S0946-672X(99)80018-2.
- Golubkina N.A., Kekina H.G., Molchanova A.V., Antoshkina M.S., Nadezhkin S.M., Soldatenko A.V. 'lant Antioxidants and Methods of Their Determination; 2020a, Infra-M: Moscow, Russia, pp.145–147. DOI: 10.12737/1045420.
- Guerrero N., Lopez M.J., Caudullo G. *Tamarix tamarisks* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayaz J., de Rigo D., Caudullo G., Houston Durrant T., Mauri A. (Eds.), *European Atlas of Forest Tree Species.* 2016. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp.e011f06.
- Han Z., Yin W., Zhang J., Niu S., Ren L. Active anti-erosion protection strategy in Tamarisk (*Tamarix aphylla*). *Sci. Rep.* 2013; 3: 3429.
- Ikram S., Li Y., Lin C., Yi D., Heng W., Li Q., Tao L., Hongjun Y., Weijie J. Selenium in plants: A nexus of growth, antioxidants, and phytohormones, *J Plant Physiol.* 2024; 296: 154237; <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2024.154237>.
- Jones G.D., Droz B.P., Greve P., Gottschalk D., Poffet S.P., McGrath S.I., Seneviratne P., Smith L.H., Winkel E. Selenium deficiency risk predicted to increase under future climate change. *PNAS* 2017; 114(11): 2848–2853.
- Karpova E.A., Buglova L.V., Lyakh E.M., Shaldaeva T.M. Ecological aspects of composition and tissue distribution of phenolic compounds in twigs of *Myricatia bracteata* and *Myricaria longifolia* *Siberian Ecological Journal.* 2025; 32(4): 599–618. DOI: 10.15372/SEJ20250411.
- Kostić O., Jarić S., Gajić G., Pavlović D., Mataruga Z., Radulović N., Mitrović M., Pavlović P. The Phytoremediation Potential and Physiological Adaptive Response of *Tamarix tetrandra* Pall. Ex M. Bieb. during the Restoration of Chronosequence Fly Ash Deposits. *Plants.* 2022; 11(7): 855. DOI: 10.3390/plants11070855
- Kostina M.V., Barabanshikova N.S., Pavlova I.V. Structural and rhythmological features of shoot systems for species of the genus *Tamarix* L (Tamaricaceae), providing the adaptation of these species in Moscow region. *Bulletin of the Moscow Society of naturalists, Biology section.* 2020; 125(6): 21–32.

- Kovalsky J.G., Golubkina N.A., Papazyan T.T., Senkevich O.A. The human selenium status of Khabarovsk land in 2018. *Trace Elements in Medicine*. 2019; 20(3): 45–53. DOI: 10.19112/2413-6174-2019-20-3-45-53.
- Li F., Xie W., Ding X., Xu K., Fu X. Phytochemical and pharmacological properties of the genus *Tamarix*: a comprehensive review. *Arch. Pharm. Res.* 2024; 47: 410–441; <https://doi.org/10.1007/s12272-024-01498-x>.
- Meinhardt K.A., Gehring C.A. 'Tamarix and Soil Ecology', in Anna Sher, and Martin F. Quigley (eds), *Tamarix: A Case Study of Ecological Change in the American West*. New York, 2013; Oxford Academic, 8 May 2015; <https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199898206.003.0013>.
- Poluboyarinov P.A., Moiseeva I.J., Mikulyak N.I.; Golubkina N.A., Kaplun A.P. New synthesis of cysteine and selenocysteine enantiomers and their derivatives. *News of Higher educational institutions. Chemistry and Chemical Technology*. 2022; 65(2): 19–29.
- Reeves R.D., Baker A.J.M. Metal-accumulating plants. In: Raskin I, EnsleyBD (eds.), *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment*, John Wiley & Sons, NewYork; 2002, pp. 193–229.
- Samadi N., Ghaffari S.M., Akhiani H. Meiotic behaviour, karyotype analyses and pollen viability in species of *Tamarix* (Tamaricaceae). *Willdenowia*. 2013; 43(1): 195–203.
- Sarwar N., Akhtar M., Kamran M.A., Imran M., Riaz M.A., Kamran K., Hussain S. Selenium biofortification in food crops: Key mechanisms and future perspectives. *J Food Comp. Anal.* 2020; 93: 103615; <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103615>.
- Sedlakova-Kadukova J., Manousaki E., Kalogerakis N. Pb and Cd Accumulation and Phyto-Excretion by Salt Cedar (*Tamarix Smyrnensis* Bunge) *Int. J. Phytoremediation*. 2008; 10(1): 31–46. DOI: 10.1080/15226510701827051.
- Skrypnik L., Feduraev P., Golubkina N., Maslennikov P., Antipina M.I., Katsarov D., Murariu O.C., Tallarita A.V. Caruso, G. Foliar spraying of selenium in inorganic and organic forms stimulate plant growth and secondary metabolism of sage (*Salvia officinalis* L.) through alterations in photosynthesis and primary metabolism. *Sci. Hort.* 2024; 338: 113633.
- Sookbirsingh R., Castillo K., Gill T.E., Chianelli R. Salt separation processes in the saltcedar *Tamarix ramosissima* (Ledeb.). *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 2010; 41(10): 1271–1281.
- Sorensen M.A., Parker D.R., Trumble J.T. Effects of pollutant accumulation by the invasive weed saltsedar (*Tamarix ramosissima*) on the biological control agent *Diorhabda elongata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environ. Poll.* 2009; 157(2): 384-391; <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.10.001>.
- Sultanova N., Makhmoor T., Abilov Z.A., Parween Z., Omurkamzinova V.B., ur-Rahman A., Choudhary M.I. Antioxidant and antimicrobial activities of *Tamarix ramosissima*. *J Ethnopharmacol.* 2001; 78(2-3): 201–205. DOI: 10.1016/s0378-8741(01)00354-3.
- Sun Y., Wang Z., Gong P., Yao W., Ba Q., Wang H. Review on the health-promoting effect of adequate selenium status. *Front Nutr.* 2023; 10: 1136458. DOI: 10.3389/fnut.2023.1136458.
- Surai P.F., Kochish I.I., Fisinin V.I., Velichko O.A. Selenium in Poultry Nutrition and Health. 2018; Wageningen Academic Publishers The Netherlands, Wageningen. DOI: 10.3920/978-90-8686-865-0.
- Suska-Malawska M., Sulwiński M., Wilk M., Otarov A., Mętrak M. Potential eolian dust contribution to accumulation of selected heavy metals and rare earth elements in the aboveground biomass of *Tamarix* spp. from saline soils in Kazakhstan *Environ Monitor. Assess.* 2019; 191: 57; <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7179-0>.
- Valizhonova L.N. Macro- and microelement analysis of *Tamarix ramosissima*, distributed near Syrdarya of Fergana region in Uzbekistan//*Universum: Chemistry and Biology: Electronic Scientific Journal*. 2023; 11(113); <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/16200>.
- White P.J. Selenium accumulation by plants. *Ann. Bot.* 2016; 117(2): 217–235. DOI:10.1093/aob/mcv180.

Information about the authors:

Nadezhda A. Golubkina – Dr.Sc. (Agric.), Chief Research Scientist, Analytical Laboratory Department
E-mail: segolubkina45@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>

Fedor V. Golubev – Ph.D. (Biol.), Research Scientist, Laboratory of Environmental Biogeochemistry
E-mail: f.v.golubev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7401-5705>; SPIN-код: 6311–8229

Vladimir A. Lapchenko – Research Scientist, Department of Biodiversity Study and Environmental Monitoring
E-mail: ozon.karadag@gmail.com

Helene V. Lapchenko – Engineer, Department of Biodiversity Study and Environmental Monitoring
E-mail: elenalapchenko@gmail.com

Tatiana S. Naumenko – Ph.D. (Agric.), Leading Research Scientist, Laboratory of Aromatic, Medicinal and Essential Oil Plants
E-mail: tanya_yalta@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1220-4927>

Natalia A. Bagrikova – Dr.Sc. (Biol.), Chief Research Scientist, Department of Natural Ecosystems
E-mail: nbagrik@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2305-4146>

Nikolay G. Pirogov – Deputy Director for Research
E-mail: npirogov2017@yandex.ru

Irina V. Pavlova – Research Scientist, Natural Flora Laboratory
E-mail: irpavlova@list.ru

Otilia Cristina Murariu – Professor, Faculty of Food Technology
E-mail: otilia.murariu@iuls.ro; <https://orcid.org/0000-0002-9612-6198>

Gianluca Caruso – Professor, Department of Agricultural Sciences
E-mail: gcaruso@unina.it; <https://orcid.org/0000-0001-6981-852X>

Conflict of interest

The authors declare no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Funding

The investigation was achieved according to the agreements between Federal Scientific Vegetable Center, Bogdinsko-Baskunchak Nature Reserve, and T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station, and within the state assignment of the Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences, and T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station theme № 124030100098-0 ‘Investigation of biotic and abiotic ecosystem components in different climatic conditions’ and did not receive any special funding.

Author Contributions

Conceptualization: N. Golubkina, F. Golubev, and G. Caruso; investigation: N. Golubkina, F. Golubev, T. Naumenko, H. Lapchenko, and V. Lapchenko; methodology: N. Bagrikova; formal analysis: O. Murariu and V. Lapchenko; data curation: N. Pirogov and V. Lapchenko; validation: N. Golubkina, I. Pavlova, O. Murariu, and G. Caruso; writing original draft: N. Golubkina, I. Pavlova; writing, review and editing: N. Golubkina, F. Golubev, and G. Caruso.

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

ТАМАРИКС – ВТОРИЧНЫЙ АККУМУЛЯТОР СЕЛЕНА: РОЛЬ В ПИТАНИИ ЧЕЛОВЕКА И МЕДИЦИНЕ

**Н.А. Голубкина¹, Ф.В. Голубев², В.А. Лапченко³, Е.В. Лапченко³,
Т.С. Науменко⁴, Н.А. Багрикова⁴, Н.Г. Пирогов⁵,
И.В. Павлова⁶, О.К. Мурариу⁷, Д. Карузо⁸**

¹ ФГБНУ Федеральный Научный центр Овощеводства;
Российская Федерация, 143072, Московская обл., Одинцовский район, поселок ВНИИССОК, ул. Селекционная, 4

² Институт геохимии и аналитической химии им. Вернадского РАН;
Российская Федерация, 119334, Москва, ул. Косыгина, 19

³ ФГБУН «Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН Курортное»;
Российская Федерация, 298188, Республика Крым, г. Феодосия, ул. Науки, д. 24

⁴ ФГБУН «Никитский ботанический сад» РАН;
Российская Федерация, 298648, Республика Крым, г. Ялта, пос. Никита, Никитский спуск, 52

⁵ Богдинско-Баскунчакский Природный заповедник;
Российская Федерация, 416532, г. Ахтубинск, мкр. Мелиораторов, д. 19, пом. 1

⁶ Главный ботанический сад им. Цицина РАН;
Российская Федерация, 127276, Москва, Ботаническая ул., дом 4

⁷ Университет Естественных Наук Ион Ионеску де ла Брад;
Ясса, 700490 Румыния

⁸ Неаполитанский университет им. Федерико II;
Неаполь, 80055, Италия

РЕЗЮМЕ. Многие виды семейства Тамарисковые являются лекарственными растениями, способными аккумулировать высокие концентрации макро- и микроэлементов. Для оценки способности этих растений аккумулировать селен (Se) в умеренном климате и на юге России были исследованы отдельные виды тамарикса (*Tamarix ramosissima*, *T. tetrandra*, *T. litwinowii*, *T. hohenackeri* и *Merycra bacteata*). Наибольшие уровни селена (998–6235 мкг/кг сухой массы) были установлены для *T. tetrandra*, произрастающего на Южном побережье Крыма (Карадаг и Ялта), а также *T. ramosissima* Богдинско-Баскунчакского природного заповедника (Астраханская обл., 1000 мкг/кг сухой массы), в отличие от видов, выращиваемых в Главном Ботаническом Саду им. Цицина (*T. ramosissima*, *T. litwinowii*, *T. hohenackeri*) на селенодефицитных почвах (среднее содержание селена в почве составило 240 мкг/кг сухой массы при концентрации селена в растениях 44–56 мкг/кг сухой массы). Результаты свидетельствуют о том, что тамарикс относится к группе вторичных аккумуляторов селена и указывают на перспективность использования *T. tetrandra* и *T. ramosissima*, произрастающих в Крыму и Астраханской области, для оптимизации селенового статуса населения не только благодаря высоким концентрациям микроэлемента, но и высокой антиоксидантной активности (86–135 мг-экв. галловой кислоты/г сухой массы) и высокому содержанию полифенолов (14,5–31,4 мг-экв. галловой кислоты/г сухой массы). Половина необходимой суточной дозы селена (35 мкг/сутки) может быть обеспечена потреблением 5 г листьев тамарикса Карадага,

30 г – Ялты, 35 г – Баскунчакского природного заповедника и 60 г листьев *Myricaria bracteata* из Осетии. Результаты исследования подтверждают важное фармакологическое значение листьев тамарикса из южных регионов России, благодаря высокому содержанию биодоступного селена и других природных антиоксидантов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *T. tetrandra*, *T. ramosissima*, *Myricaria bracteata*, *T. litwinowii*, *T. hohenackeri*, селен, антиоксидантный статус, окружающая среда.

Для цитирования: Голубкина Н.А., Голубев Ф.В., Лапченко В.А., Лапченко Е.В., Науменко Т.С., Багрикова Н.А., Пирогов Н.Г., Павлова И.В., Мурариу О.К., Карузо Д. Тамарикс – вторичный аккумулятор селена: роль в питании человека и медицине. Микроэлементы в медицине. 2025;26(4):25–34. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-4-25-34.

Информация об авторах:

Надежда Александровна Голубкина – д.с.-х.н., гл. науч. сотрудник, лабораторно-аналитический отдел
E-mail: segolubkina45@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>

Федор Вячеславович Голубев – к.б.н., науч. сотрудник, лаборатория биогеохимии окружающей среды
E-mail: f.v.golubev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7401-5705>; SPIN-код: 6311–8229

Владимир Александрович Лапченко – науч. сотрудник, отдел изучения биоразнообразия и экологического мониторинга
E-mail: ozon.karadag@gmail.com

Елена Витальевна Лапченко – инженер, отдел изучения биоразнообразия и экологического мониторинга
E-mail: elenalapchenko@gmail.com

Татьяна Сергеевна Науменко – к.с.-х.н. вед. науч. сотрудник, лаборатория ароматических, лекарственных и эфиромасличных растений
E-mail: tanya_yalta@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1220-4927>

Наталья Александровна Багрикова – д.б.н., гл. науч. сотрудник, отдел природных экосистем
E-mail: nbagrik@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2305-4146>

Николай Григорьевич Пирогов – зам. директора Богдинско-Баскунчакского природного заповедника по научной работе
E-mail: npirogov2017@yandex.ru

Ирина Вадимовна Павлова – науч. сотрудник, лаборатория природной флоры
E-mail: irpavlova@list.ru

Мурариу Отилия Кристина – профессор, факультет пищевых технологий
E-mail: otilia.murariu@iuls.ro; <https://orcid.org/0000-0002-9612-6198>

Карузо Джанлука – профессор
E-mail: gcaruso@unina.it; <https://orcid.org/0000-0001-6981-852X>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии очевидных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Финансирование

Исследование проводилось в соответствии с соглашениями между Федеральным научным центром овощеводства, Богдинско-Баскунчакским природным заповедником и Карадагской научной станцией им. Т.И. Вяземского, а также в рамках государственного задания Института геохимии и аналитической химии им. Вернадского Российской академии наук и Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского № 124030100098-0 «Исследование биотических и абиотических компонентов экосистемы в различных климатических условиях» и не получало специального финансирования.

Поступила 10 ноября 2025 года
Принята к публикации 1 декабря 2025 года

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА СТАНДАРТНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ЭНТЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Е.М. Щетинина¹, А.А. Кочеткова¹, И.Ю. Тармаева^{1,2}¹ ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»;
Российская Федерация, 109240, Москва, Устьинский проезд 2/14² ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»;
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

РЕЗЮМЕ. Нутритивная поддержка пациентов в период восстановления осуществляется за счет энтерального питания, которое имеет в своем составе минеральные вещества, обеспечивающие синтез ферментов, регулицию кислотно-щелочного равновесия, осмотического давления, отвечают за действие гормонов, витаминов и тем самым участвуют во всех видах обмена веществ, влияют на иммунитет, кроветворение, свертывание крови.

Цель работы – изучение минерального состава стандартных смесей энтерального питания, представленного на рынке, в ориентации на удовлетворение суточной потребности взрослого пациента в минеральных веществах.

Проведен анализ литературных данных, полученных в результате поиска научных статей по базам данных Scopus, PubMed и Russian Science Citation Index (RSCI), а также аналитическое исследование отечественного рынка стандартных смесей энтерального питания, реализуемого через торговые сети. Выявлено, что на отечественном рынке представлены стандартные смеси для энтерального питания четырех производителей. Приведена классификация стандартных смесей по содержанию белка и энергетической ценности. Основу всех рецептов стандартных смесей составляет молочный белок, концентрат молочного белка, концентрат белка молочной сыворотки или их комбинации. Количество белка в смесях колеблется от 3,8 до 5,4 г, жира от 3,3 до 6,6 г, углеводов от 12,9 до 18,4 г на 100 мл готового продукта. Представлен полный минеральный состав данных продуктов. Общее количество минеральных веществ варьируется в диапазоне 463,8–609,34 мг. Проведен анализ процентного удовлетворения физиологической суточной потребности взрослого человека в минеральных веществах стандартными продуктами энтерального питания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энтеральное питание, минеральные вещества, нутритивная поддержка, отечественный рынок, стандартные смеси.

Для цитирования: Щетинина Е.М., Кочеткова А.А., Тармаева И.Ю. Аналитическое исследование минерального состава стандартных смесей для энтерального питания. Микроэлементы в медицине. 2025;26(4):35–40. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-4-35-40.

ВВЕДЕНИЕ

Современная проблема неполноценного питания напрямую взаимосвязана со здоровьем населения, как на уровне отдельных лиц, так и на уровне целых групп населения (Всемирная организация здравоохранения, 2024; Тутельян и др., 2024). В ряде случаев, когда человек не в состоянии потреблять и усваивать пищевые продукты в стандартном виде, для лучшего всасывания пищи через слизистую оболочку желудочно-кишечного тракта используют определенный тип лечебного или дополнительного питания, квалифицируемое как энтеральное (ЭП). Терапия энтеральным питанием может обеспечить жизненно важную поддержку питания пациентов с раз-

личными медицинскими состояниями (Baiu, Spain, 2019; Луфт и др., 2022; Elfadil, et al., 2024).

Результаты ряда исследований показали, что использование ЭП с момента начала лечения может улучшить результаты лечения пациентов и ускорить их выздоровление (Ke, et al., 2022; Bechtold, et al., 2022). Энтеральное питание обеспечивает поддержание желудочно-кишечного тракта, сохранение кишечного микробиома и модуляцию иммунных и воспалительных реакций, что имеет большое значение при восстановлении (Невзорова, 2022; Deng, et al., 2023).

Эффективность раннего начала применения ЭП подтверждена для целого ряда хирургических вмешательств (Weimann, et al., 2017). Бла-

* Адрес для переписки:

Щетинина Елена Михайловна

E-mail: schetininina2014@bk.ru

годаря раннему применению ЭП, существенно сокращается время нахождения пациента в отделении интенсивной терапии, как и общий срок госпитализации, снижается риск появления инфекционных и послеоперационных осложнений, происходит более быстрое «функциональное» восстановление (Почхверия и др., 2021; Павлов и др., 2022; Фетисова и др., 2024).

Нутритивная поддержка пациентов в период восстановления особенно важна (Кочеткова, 2022). Так, минеральные вещества, входящие в состав продуктов, участвуют в построении клеток тканей, синтезе ферментов, регуляции кислотно-щелочного равновесия, осмотического давления. Минеральные вещества входят в состав или активируют действие гормонов, витаминов и тем самым участвуют во всех видах обмена веществ, влияют на иммунитет, кроветворение, свертывание крови (Скальный, 2018). Суточная потребность в различных минеральных веществах зависит от возраста, вида деятельности, условий окружающей среды, состояния организма, сбалансированности белков, жиров, углеводов в рационе питания (Стародубова, 2022; Морозова и др., 2023).

Цель работы – изучение минерального состава стандартных смесей энтерального питания, представленного на рынке, в ориентации на удовлетворение суточной потребности взрослого пациента в минеральных веществах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено в ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» в рамках средств, выделяемых для реализации государственного задания FGMP-2025-0011.

Поиск тематических научных публикаций осуществлялся по базам данных Scopus, PubMed и Russian Science Citation Index (RSCI) по ключевому словосочетанию, «энтеральное питание,

нутритивная поддержка, минеральные вещества». Для анализа были отобраны только оригинальные статьи с открытым доступом. Проведен анализ отечественного рынка энтерального питания, реализуемого через торговые сети.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Продукция энтерального питания, в зависимости от своего состава, формы выпуска имеет конкретные рекомендации по своему назначению. Часть из представленных на рынке компаний предлагает в своем ассортименте стандартные смеси, которые рекомендованы для употребления при широком спектре заболеваний. Стандартные смеси на отечественном рынке представляют четыре компании: АО «Инфаприм» (смеси Nutrien Standart и Nutrien Standart Fiber), ООО «Нестле Россия» (Isosource® Standard), ООО «Б.Браун» (Нутрикорм Стандарт ликвид) и ООО «БиоМедика Фарм» (продукты Биошейк в четырех вкусах).

Классификация стандартных смесей по содержанию белка и калорийности представлена в табл. 1.

Основу всех рецептур составляет молочный белок, концентрат молочного белка, концентрат белка молочной сыворотки или их комбинация. Количество белка в смесях находится в пределах от 3,8 до 5,4 г, жира – в пределах от 3,3 до 6,6 г, углеводов – в пределах от 12,9 до 18,4 г на 100 мл готового продукта. Смеси компании ООО «БиоМедикаФарм» относятся к гиперкалорийным и гипернитрогенным, остальные – к изокалорийным и изонитрогенным.

В процессе восстановления, особенно в послеоперационном периоде, организм человека нуждается в питании, которое будет максимально сбалансировано по своему составу. Обязательным компонентом смеси должны являться минеральные вещества (рис. 1), которые будут способствовать восстановлению организма.

Таблица 1. Классификация стандартных смесей для энтерального питания

Наименование, производитель	По содержанию белка	Калорийность
Nutrien Standart, АО «Инфаприм»	Изонитрогенная	Изокалорийная
Nutrien Standart Fiber, АО «Инфаприм»	Изонитрогенная	Изокалорийная
Isosource® Standard, ООО «Нестле Россия»	Изонитрогенная	Изокалорийная
Нутрикорм Стандарт ликвид, ООО «Б.Браун»	Изонитрогенная	Изокалорийная
Биошейк Стандарт нейтральный, ООО «БиоМедика Фарм»	Гипернитрогенная	Гиперкалорийная
Биошейк Стандарт Маффин, ООО «БиоМедика Фарм»	Гипернитрогенная	Гиперкалорийная
Биошейк Стандарт курица, ООО «БиоМедика Фарм»	Гипернитрогенная	Гиперкалорийная
Биошейк Стандарт сыр, ООО «БиоМедика Фарм»	Гипернитрогенная	Гиперкалорийная

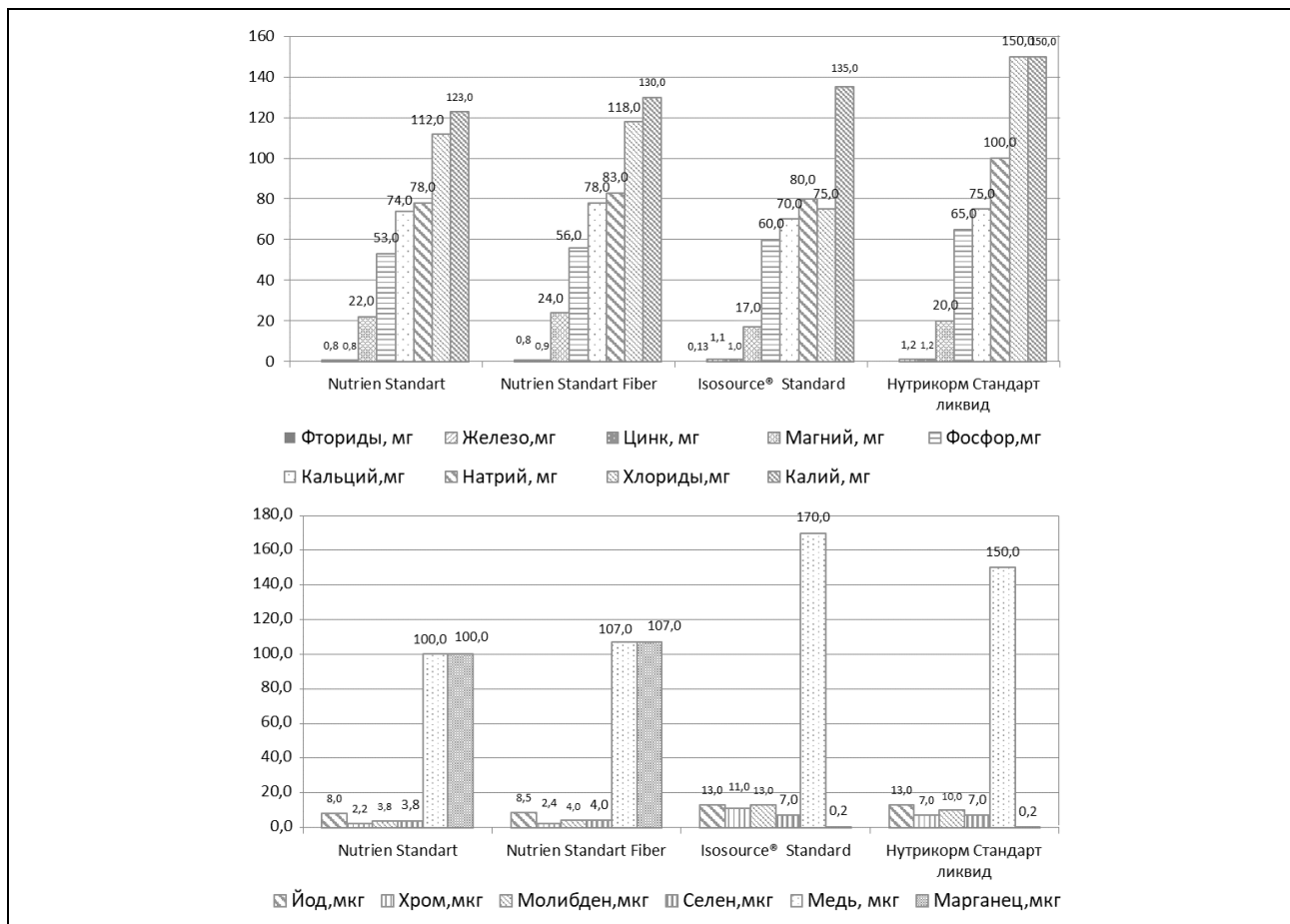


Рис. 1. Минеральный состав стандартных смесей для энтерального питания

Таблица 2. Процентное удовлетворение суточной физиологической потребности взрослого человека минеральными веществами в 100 мл готового продукта энтерального питания

Минеральные вещества	Физиологическая потребность взрослого человека в сутки (МР 2.3.1.0253—21)	Наименование продукта			
		Nutrien Standart	Nutrien Standart Fiber	Isosource® Standard	Нутрикорм Стандарт ликвид
Кальций, мг	1000 мг	7,4	7,8	7,0	7,5
Фосфор, мг	700 мг	7,6	8,0	8,5	9,3
Калий, мг	3500 мг	3,5	3,7	3,8	4,3
Натрий, мг	2000 мг	3,9	4,1	4,0	5,0
Магний, мг	420 мг	5,2	5,7	4,0	4,7
Медь, мкг	1,0 мг	10,0	10,7	17,0	15,0
Марганец, мкг	2,0 мг	5,0	5,35	0,012	0,01
Железо, мг	10 мг (мужчины)/18 мг (женщины)	8,0/4,4	8,0/4,4	11,0/6,1	12,0/6,4
Цинк, мг	12 мг	6,6	7,5	8,3	10,0
Хлориды, мг	2300 мг	4,86	5,13	3,2	6,5
Йод, мкг	150 мкг	5,3	5,6	8,6	8,6
Хром, мкг	40 мкг	5,5	6,0	27,5	17,5
Молибден, мкг	70 мкг	5,4	5,7	18,5	14,2
Селен, мкг	55 мкг	6,9	7,2	12,7	12,7

Процентное удовлетворение суточной физиологической потребности взрослого человека, согласно МР 2.3.1.0253-21 стандартными продуктами ЭП представлены в табл. 2.

Продукты компании ООО «БиоМедикаФарм» обогащены витаминами, информации о составе минеральных веществ не приводится. В остальных стандартных продуктах общее количество минеральных веществ колеблется от 463,8 до 609,34 мг. В состав входят: кальций, фосфор, калий, натрий, магний, медь, марганец, железо, цинк, хлориды, йод, хром, молибден, селен и в Isosource® Standard – фториды. В 100 мл смеси содержится: кальция от 70,0 до 78,0 мг, что составляет от 7,0 до 7,8%; фосфора – от 53,0 до 65,0 мг, что составляет от 7,6 до 9,3%; калия – от 123,0 до 150,0 мг, что составляет от 3,5 до 4,3%; натрия – от 78,0 до 100,0 мг, что составляет 3,9 до 5,0%; магния – от 17,0 до 24,0 мг, что составляет от 4,0 до 5,7%; меди – от 100,0 до 170,0 мкг, что составляет 10,0 до 17,0%; марганца – от 0,2 до 107,0 мкг, что составляет 0,01 до 5,35%; железа – от 0,8 до 1,2 мг, что составляет от 8,0 до

12,0% для мужчин и от 4,4 до 6,4% для женщин; цинка – от 0,8 до 1,2 мг, что составляет от 6,6 до 10,0%; хлоридов – от 75,0 до 150,0 мг, что составляет от 3,2 до 6,5%; йода – от 8,0 до 13,0 мкг, что составляет от 5,3 до 8,6%; хрома – от 2,2 до 11 мкг, что составляет от 5,5 до 27,5%; молибдена – от 3,8 до 13,0 мкг, что составляет от 5,4 до 18,5%; селена – от 3,8 до 7,0 мкг, что составляет от 6,9 до 12,7% от суточной нормы потребления взрослого человека.

ВЫВОДЫ

Проведенные аналитические исследования позволили определить производителей и количество стандартных смесей для энтерального питания, представленных на отечественном рынке. Согласно анализу собранных данных, изучен химический и минеральный состав стандартных продуктов энтерального питания и рассчитано процентное удовлетворение суточной физиологической потребности взрослого человека минеральными веществами 100 мл готового продукта.

ЛИТЕРАТУРА

- Кочеткова А.А. Специализированная продукция - вектор инноваций в пищевой промышленности. Молочная промышленность. 2022; 10: 49–51.
- Луфт В.М., Лапицкий А.В., Сергеева А.М., Кельбетова Б.Р. Энтеральное питание в паллиативной медицине: фармако-нутриентная характеристика и возможности дифференцированного применения энтеральных питательных смесей. Pallium: паллиативная и хосписная помощь. 2022; 4(17): 47–53.
- Морозова Г.Д., Намиот Е.Д., Рылина Е.В., Коробейникова Т.В., Цыбулина А.А., Садыков А.Р., Юрасов В.В., Скальный А.В. Изучение взаимосвязи концентраций меди и цинка в сыворотке крови с маркерами воспаления. Молекулярная медицина. 2023; 21(5): 36–40. DOI: 10.29296/24999490-2023-05-05.
- Невзорова Д.В. Методические рекомендации по нутритивной поддержке и регидратации взрослых, нуждающихся в паллиативной медицинской помощи. Pallium: паллиативная и хосписная помощь. 2022. 4(17). С. 12-14.
- Неполноценное питание. ВОЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition> (дата обращения: 03.12.2025).
- Павлов Р.В., Тимофеева К.О., Черных М.А., Данилин В.Н. Безопасность и преимущества раннего перорального питания в рамках программы fast-track среди пациентов, перенесших гастрэктомию по поводу рака желудка. Сибирский онкологический журнал. 2022; 21(2): 81–87. DOI: 10.21294/1814-4861-2022-21-2-81-87.
- Почхверия М.М., Гольдфарб Ю.С., Маткевич В.А., Рык А.А. Современные подходы к энтеральному питанию в интенсивной терапии. Неотложная медицинская помощь. Журнал им. Н.В. Склифосовского. 2021; 10: 108–121. DOI: 10.23934/2223-9022-2021-10-1-108-121.
- Скальный А.В. Оценка и коррекция элементного статуса населения – перспективное направление отечественного здравоохранения и экологического мониторинга. Микроэлементы в медицине. 2018; 19(1): 5–13. DOI: 10.19112/2413-6174-2018-19-1-5-13
- Стародубова А.В. Можно ли считать здоровое питание инструментом здоровьесбережения? Вестник Российской академии наук. 2022; 92(2): 162–170. DOI: 10.31857/S0869587322020098.
- Тутельян В.А., Никитюк Д.Б. Ключевые проблемы в структуре потребления пищевой продукции и прорывные технологии оптимизации питания для здоровьесбережения населения России. Вопросы питания. 2024; 93(1): 6–21. DOI: 10.33029/0042-8833-2024-93-1-6-21.
- Фетисова А.С., Цыганкова Я.А., Колесников А.Н. Парентеральное и энтеральное питание у пациентов в критическом состоянии, вред или польза от "раннего" введения парентерального питания в отделение интенсивной терапии, основные принципы состава парентерального питания (обзор литературы). Военная и тактическая медицина, медицина неотложных состояний. 2024; 1(12): 85–96. DOI: 10.55359/2782-3296.2024.55.98.009.
- Baiu I., Spain D.A. Enteral Nutrition. JAMA. 2019; 321(20): 2040. DOI: 10.1001/jama.2019.4407.
- Bechtold M.L., Brown P.M., Escuro A., Grenda B., Johnston T., Kozeniecki M., Limketkai B.N., Nelson K.K., Powers J., Ronan A., Schober N., Strang B.J., Swartz C., Turner J., Tweel L., Walker R., Epp L., Malone A. When is enteral nutrition indicated? JPEN J Parenter Enteral Nutrition. 2022; 46(7): 1470–1496. DOI: 10.1002/jpen.2364.

Deng Y., Ren Y., Wang W., Sun R., Pei H., Song H. Zhonghua Wei Zhong Bing Ji Jiu Yi Xue Summary of the best evidence for the energy and protein intake targets and calculation in critically ill patients. 2023; 35(8): 849–855. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20230130-00043.

Elfadil O.M., Velapati S.R., Patel J., Hurt R.T., Mundi M.S. Curr Enteral Nutrition Therapy: Historical Perspective, Utilization, and Complications. Current Gastroenterol Reports. 2024; 26(8): 200–210. DOI: 10.1007/s11894-024-00934-8.

Ke L., Lin J., Doig G.S., van Zanten A.R.H., Wang Y., Xing J., Zhang Z., Chen T., Zhou L., Jiang D., Shi Q., Lin J., Liu J., Cheng A., Liang Y., Gao P., Sun J., Liu W., Yang Z., Zhang R., Xing W., Zhang A., Zhou Z., Zhou T. Actively implementing an evidence-based feeding guideline for critically ill patients (NEED): a multicenter, cluster-randomized, controlled trial. Critical Care Nutrition Trials Group. 2022; 26(1): 46. DOI: 10.1186/s13054-022-03921-5.

Weimann A., Braga M., Carli F., Higashiguchi T., Hübner M., Klek S., Laviano A., Ljungqvist O., Lobo D. N., Martindale R., Waitzberg D.L., Bischoff S.C., Singer P. ESPEN guideline: clinical nutrition in surgery. Clinical Nutrition. 2017; 36(3): 623–650. DOI: 10.1016/j.clnu.2017.02.013.

Информация об авторах:

Елена Михайловна Щетинина – д.т.н., доцент, вед. науч. сотрудник,
лаборатория пищевых биотехнологий и специализированных продуктов
E-mail: schetinina2014@bk.ru; <http://orcid.org/0000-0002-3463-9502>

Алла Алексеевна Кочеткова – д.т.н., академик РАН, зав. лабораторией пищевых биотехнологий
и специализированных продуктов
E-mail: prof.kochetkova@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0001-9821-192X>

Инна Юрьевна Тармаева – д.м.н., профессор, вед. науч. сотрудник,
лаборатория возрастной нутрициологии, ученый секретарь
E-mail: tarmaeva@ion.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7791-1222>

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Финансирование

Исследование выполнено в ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» в рамках средств, выделяемых для реализации государственного задания FGMF-2025-0011.

ANALYTICAL STUDY OF THE MINERAL COMPOSITION OF STANDARD ENTERAL NUTRITION MIXTURES

E.M. Shchetinina¹, A.A. Kochetkova¹, I.Yu. Tarmaeva^{1,2}

¹ Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety;
Ustinsky pr., 2/14, Moscow, 109240, Russian Federation

² Peoples Friendship University of Russia;
Mikluho-Maklaya str., 6, Moscow, 117198, Russian Federation

ABSTRACT. Nutritional support for patients during the recovery period is provided through enteral nutrition, containing minerals that promote enzyme synthesis, regulate acid-base balance and osmotic pressure, and are responsible for the action of hormones and vitamins. These minerals are involved in all types of metabolism, affecting immunity, hematopoiesis, and blood clotting. This article presents a literature search of scientific articles in the Scopus, PubMed, and Russian Science Citation Index (RSCI) databases, as well as an analytical study of the domestic market for standard enteral nutrition formulas sold through retail chains. It was found that standard enteral nutrition formulas from four manufacturers are available on the domestic market. A classification of standard formulas by protein content and energy value is provided. All standard formula recipes are based on milk protein, milk protein concentrate, whey protein concentrate, or their combinations. The protein content in the mixtures ranges from 3.8 to 5.4 g, fat from 3.3 to 6.6 g, and carbohydrates from 12.9 to 18.4 g per 100 ml of the finished product. The complete mineral composition of these products is presented. The total amount of minerals varies between 463.8 and 609.34 mg. An analysis of the percentage satisfaction of the physiological daily mineral requirement for adults with standard enteral nutrition products was conducted.

KEYWORDS: enteral nutrition, minerals, nutritional support, domestic market, standard mixtures.

For citation: Shchetinina E.M., Kochetkova A.A., Tarmaeva I.Yu. Analytical study of the mineral composition of standard enteral nutrition mixtures. Trace elements in medicine. 2025;26(4):35–40. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-4-35-40

REFERENCES

Kochetkova A.A. Specialized products – a vector of innovations in the food industry. Dairy industry. 2022; 10: 49–51. (In Russian).

Luft V.M., Lapitsky A.V., Sergeeva A.M., Kelbetova B.R. Enteral nutrition in palliative medicine: pharmacological characteristics and possibilities of differentiated use of enteral nutritional mixtures. Pallium: palliative and hospice care. 2022; 4(17): 47–53. (In Russian).

- Morozova G.D., Namiot E.D., Rylina E.V., Korobaynikova T.V., Tsybulina A.A., Sadykov A.R., Yurasov V.V., Skalny A.V. Study of the relationship between copper and zinc concentrations in blood serum and inflammation markers. *Molecular medicine*. 2023; 21(5): 36–40. (In Russian). DOI: 10.29296/24999490-2023-05-05.
- Nevezorova D.V. Guidelines for nutritional support and rehydration of adults in need of palliative care. *Pallium: palliative and hospice care*. 2022; 4(17): 12–14. (In Russian).
- Malnutrition. WHO. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition> (date of access: 03.12.2025). (In Russian).
- Pavlov R.V., Timofeeva K.O., Chernykh M.A., Danilin V.N. Safety and benefits of early oral nutrition within the fast-track program among patients who underwent gastrectomy for gastric cancer. *Siberian Journal of Oncology*. 2022; 21(2): 81–87. (In Russian). DOI: 10.21294/1814-4861-2022-21-2-81-87.
- Potskhveria M.M., Goldfarb Yu.S., Matkevich V.A., Ryk A.A. Modern approaches to enteral nutrition in intensive care // Emergency medical care. *Journal named after N.V. Sklifosovsky*. 2021; 10(1): 108–121. (In Russian). DOI: 10.23934/2223-9022-2021-10-1-108-121.
- Skalny A.V. Assessment and correction of the elemental status of the population is a promising direction of domestic healthcare and environmental monitoring. *Microelements in Medicine*. 2018; 19(1): 5–13. (In Russian). DOI: 10.19112/2413-6174-2018-19-1-5-13
- Starodubova A.V. Can healthy eating be considered a health-preserving tool? *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2022; 92(2): 162–170. (In Russian). DOI: 10.31857/S0869587322020098.
- Tutelyan V.A., Nikityuk D.B. Key problems in the structure of food consumption and breakthrough technologies for optimizing nutrition for health preservation of the population of Russia. *Nutrition Issues*. 2024; 93(1): 6–21. (In Russian). DOI: 10.33029/0042-8833-2024-93-1-6-21.
- Fetisova A.S., Tsygankova Ya.A., Kolesnikov A.N. Parenteral and enteral nutrition in critically ill patients, harm or benefit from the "early" introduction of parenteral nutrition in the intensive care unit, basic principles of parenteral nutrition composition (literature review). *Military and tactical medicine, emergency medicine*. 2024; 1(12): 85–96. (In Russian). DOI: 10.55359/2782-3296.2024.55.98.009.
- Baiu I., Spain D.A. Enteral Nutrition. *JAMA*. 2019; 321(20): 2040. DOI: 10.1001/jama.2019.4407.
- Bechtold M.L., Brown P.M., Escuro A., Grenda B., Johnston T., Kozeniecki M., Limketkai B.N., Nelson K.K., Powers J., Ronan A., Schober N., Strang B.J., Swartz C., Turner J., Tweel L., Walker R., Epp L., Malone A. When is enteral nutrition indicated? *JPEN J Parenter Enteral Nutrition*. 2022; 46(7): 1470–1496. DOI: 10.1002/jpen.2364.
- Deng Y., Ren Y., Wang W., Sun R., Pei H., Song H. Zhonghua Wei Zhong Bing Ji Jiu Yi Xue Summary of the best evidence for the energy and protein intake targets and calculation in critically ill patients. 2023; 35(8): 849–855. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20230130-00043.
- Elfadil O.M., Velapati S.R., Patel J., Hurt R.T., Mundi M.S. Curr Enteral Nutrition Therapy: Historical Perspective, Utilization, and Complications. *Current Gastroenterol Reports*. 2024; 26(8): 200–210. DOI: 10.1007/s11894-024-00934-8.
- Ke L., Lin J., Doig G.S., van Zanten A.R.H., Wang Y., Xing J., Zhang Z., Chen T., Zhou L., Jiang D., Shi Q., Lin J., Liu J., Cheng A., Liang Y., Gao P., Sun J., Liu W., Yang Z., Zhang R., Xing W., Zhang A., Zhou Z., Zhou T. Actively implementing an evidence-based feeding guideline for critically ill patients (NEED): a multicenter, cluster-randomized, controlled trial. *Critical Care Nutrition Trials Group*. 2022; 26(1): 46. DOI: 10.1186/s13054-022-03921-5.
- Weimann A., Braga M., Carli F., Higashiguchi T., Hübner M., Klek S., Laviano A., Ljungqvist O., Lobo D. N., Martindale R., Waitzberg D.L., Bischoff S.C., Singer P. ESPEN guideline: clinical nutrition in surgery. *Clinical Nutrition*. 2017; 36(3): 623–650. DOI: 10.1016/j.clnu.2017.02.013.

Information about the authors:

- Elena M. Shchetinina** – Dr.Sc. (Eng.), Associate Professor, Leading Research Scientist,
Laboratory of Food Biotechnology and Specialized Products;
E-mail: schetinina2014@bk.ru; <http://orcid.org/0000-0002-3463-9502>
- Alla A. Kochetkova** – Dr.Sc. (Eng.), Academician of the Russian Academy of Sciences,
Head of the Laboratory of Food Biotechnology and Specialized Products
E-mail: prof.kochetkova@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0001-9821-192X>
- Inna Yu. Tarmaeva** – Dr.Sc. (Med), Professor, Leading Research Scientist,
Laboratory of Age-Related Nutrition, Scientific Secretary
E-mail: tarmaeva@ion.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7791-1222>

Conflict of interest

The authors declare no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Funding

The study was conducted at the Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology using funds allocated for the implementation of state assignment FGMF-2025-001

Поступила 21 октября 2025 года
Принята к публикации 2 декабря 2025 года

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ВИТАМИНОМ D ШКОЛЬНИКОВ
МЛАДШИХ КЛАССОВ Г. ХАНТЫ-МАНСИЙСКА

И.В. КОЗЛОВСКИЙ

Ханты-Мансийская государственная медицинская академия,
Российская Федерация, 628011, г. Ханты-Мансийск, ул. Мира, д. 40

РЕЗЮМЕ. Витамин D по праву считается первоосновой для физического благополучия и состояния здоровья взрослого человека, формируемого в раннем детском возрасте.

Цель исследования – изучение концентрации витамина D в сыворотке крови у детей младшего школьного возраста, проживающих в г. Ханты-Мансийске.

Материалы и методы. Обследовано 144 школьника начальных классов из г. Ханты-Мансийска. Из них 53 (36,8%) мальчика и 91 (63,2%) девочка, средний возраст – $8,7 \pm 1,3$ года. Концентрацию витамина D в сыворотке крови проводили методом твердофазного иммуноферментного анализа.

Результаты. Средние величины концентрации витамина D оказались ниже минимального предела физиологически оптимальных значений: 18 (12,5%) младших школьников были адекватно обеспечены этим витамином, его недостаточность установили в 61 (42,4%) наблюдении, дефицит выявили у 57 (39,6%) школьников, а глубокий дефицит характеризовал D-витаминный статус 8 (5,5%) детей-северян.

Заключение. Для укрепления здоровья и профилактики развития, сопряженных с дефицитом витамина D патологических состояний, необходима рационализация питания, дополнительный прием содержащих витамин D биологически активных добавок к пище и оптимизация двигательной активности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: школьники младших классов, Север, сыворотка крови, витамин D, кальций.

Для цитирования: Козловский И.В. Обеспеченность витамином D школьников младших классов г. Ханты-Мансийска. Микроэлементы в медицине. 2025;26(4):41–46. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-4-41-46.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспеченность витамином D организма человека считается в настоящее время важнейшим прогностическим фактором, определяющим его здоровье (Суплотова и др., 2021). Этот витамин по праву считается первоосновой для физического благополучия и состояния здоровья взрослого человека, формируемого в раннем детском возрасте. При этом широкомасштабные исследования предшествующих трех десятилетий позволили установить, что витамин D является ключевым микронутриентом, а его дефицит признается глобальной проблемой, как из-за повсеместной распространенности, так и ввиду непосредственной связи с большим числом заболеваний и патологических состояний (Fung et al., 2017). На крупномасштабность сложившейся ситуации обращают пристальное внимание отечественные и зарубежные клинические исследования, где установлены низкие показатели концентрации 25(OH)D в сыворотке крови независимо

от сезона года у подавляющего большинства (более 90%) населения (Суплотова и др., 2019)

Витамин D-дефицитные состояния имеют массовое распространение во всех странах мира и характерны для всех возрастных категорий (Amrein et al., 2020), в том числе для детско-юношеской популяции (Kondratyeva et al., 2020; Nälsén et al., 2020; Song et al., 2020; Малявская и др., 2021).

Витамин D является единственным витамином, отличающимся от других витаминов способностью, помимо поступления с пищей, образовываться в коже под влиянием ультрафиолетового облучения (УФО), поэтапно трансформируясь в организме в гормональную форму. Рецепторы к витамину D (VDR) обнаружены в многочисленных тканях организма, следствием чего является прямая связь между D-витаминовой недостаточностью и широким спектром кардиологических, эндокринных, иммунных, аллергических, инфекционных, онкологических и прочих

* Адрес для переписки:

Козловский Илья Вячеславович

E-mail: info@ra-kurs.ru

заболеваний (Marino et al., 2019; Mirnamniha et al., 2019; Коденцова, Рисник, 2020; Dawson-Hughes et al., 2020; Riccio, 2024). Оптимальная обеспеченность витамином D чрезвычайно важна для детей из-за его тесной физиологической взаимосвязи с кальцием – ключевым химическим элементом костной ткани, детерминирующим рост и развитие ребенка (Riccio, 2024).

Нельзя не отметить, что примерно пятая часть необходимого человеку витамина D может быть покрыта за счет поступления с продуктами питания, а оставшиеся 80% эндогенно образуются в организме. Вдобавок синтезированный в кожных покровах витамин D распространяется в организме, циркулируя посредством тока крови, существенно дольше по сравнению с поступившим пищевым путем. В этой связи D-дефицитные состояния напрямую сопряжены с недостаточным нахождением человека на солнце (Романцова и др., 2017). Северные территории закономерно отнесены к регионам эндемичного риска гиповитаминозов D. Интенсивность УФО в высоких широтах крайне низка на протяжении более половины года, из-за холодной погоды люди одеты, и даже незначительной инсоляции может быть подвергнута только кожа лица (Козлов, Вершубская, 2019). Несомненно тот факт, что недостаточное обеспечение витамином D в юном возрасте может обуславливать отдаленные по времени последствия для зрелых лет и ускорять формирование многообразных вышеперечисленных болезней. Поэтому анализ обеспеченности витамином D детей северного региона имеет исключительно важное значение.

Ц е л ь р а б о т ы – изучение концентрации витамина D в сыворотке крови у детей младшего школьного возраста, проживающих в г. Ханты-Мансийске.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводили в весенне-зимний период 2022–2025 гг. Обследовано 144 школьника начальных классов из г. Ханты-Мансийска. Из них 53 (36,8%) мальчика и 91 (63,2%) девочка, средний возраст – $8,7 \pm 1,3$ года. *Критерии включения:* организованные дети в возрасте 7–11 лет, родители или законные представители которых подписали письменное добровольное информированное согласие на обследование и обработку полученных данных. *Критерии невключения:* неорганизованные дети исследуемого возраста, наличие врожденных поро-

ков развития, острых или обострения хронических заболеваний на момент исследования, отказ от исследования. Исследование выполняли соответственно принципам биомедицинской этики.

Количественное измерение 25(OH)D в сыворотке крови у обследуемых лиц проводили методом твердофазного иммуноферментного анализа (ELISA, DRG Instruments GmbH, Германия). Лабораторную диагностику выполняли на базе Окружной клинической больницы г. Ханты-Мансийска. Полученные результаты анализировали согласно следующим критериям: за оптимальный уровень обеспеченности витамином D принимали концентрацию 25(OH)D 30–100 нг/мл, недостаточная обеспеченность – при уровне в пределах 20–29 нг/мл, дефицит – 10–19 нг/мл, тяжелый дефицит – при менее 10 нг/мл (Michigami, 2018).

Результаты обрабатывали с применением программ «STATISTICA 13.0» и MS EXCEL. Вычисляли среднее арифметическое значение (M), среднее квадратическое отклонение (σ), медиану (Me), минимальную (min) и максимальную (max) величины.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Жителей Российской Федерации отличает многообразная микронутриентная недостаточность в различных возрастных группах, но наиболее широко масштабным дефицитом является D-витаминный дефицит (Желтикова и др., 2019; Коденцова и др., 2022). Особенно остро эта проблема стоит в северных регионах России, к которым относится расположенный на севере Тюменской области Ханты-Мансийский автономный округ. Влияние сурового климата: длительный холодный период, геомагнитные бури, шквальный ветер, флуктуации барометрического давления, солнечное голодание, ярко выраженный дефицит ультрафиолетового излучения способствуют развитию гиподинамии и еще в большей степени затрудняют усвоение тесно связанного с витамином D кальция.

Ханты-Мансийск находится на 61° северной широты, что соответствует территории значительного дефицита ультрафиолетового излучения, с суммарным числом солнечных дней на протяжении года – 84 и минусовым среднегодовым показателем температуры.

В таблице представлено содержание витамина D в сыворотке крови и ранжирование полученных данных по степеням обеспеченности данным витамином.

Таблица. **Обеспеченность витамином D детского населения
г. Ханты-Мансийска (n=144)**

Концентрация витамина D в сыворотке крови у детей 7–11 лет			
M±σ	Me	min	max
22,3±0,89	21,6	12,4	36,2
Распределение детей по уровню концентрации витамина D в сыворотке крови, абс. (%)			
Норма, 30–100 нг/мл	Недостаточность, 20–29 нг/мл	Дефицит, 10–19 нг/мл	Выраженный дефицит, < 10 нг/мл
18 (12,5)	61 (42,4)	57 (39,6)	8 (5,5)

Важно отметить, что средние значения концентрации витамина D соответствовали его недостаточности, но находились ближе к нижнему пределу этих значений (Michigami, 2018). Только 18 детей оказались оптимально обеспечены витамином D, в то время как дефицит различной степени характеризовал D-витаминный статус 126 школьников начальных классов из Ханты-Мансийска, причем глубокая степень дефицита витамина D в сыворотке крови выявлена у 8 младших школьников северного региона (таблица).

Полученные данные полностью согласуются с ранее проведенными результатами исследований D-витаминной обеспеченности детского населения северных территорий (Малаявская и др., 2021; Malayavskaya et al., 2023; Корчина и др., 2024). Такой повсеместно распространенный дефицит витамина D в высоких широтах имеет далеко идущие последствия как для костной ткани, так и для большого числа ассоциированных с этим витамином заболеваний. Установлено, что основополагающая биологическая функция 1,25(OH)₂D₃ основывается на абсорбции кальция, играющего ключевую роль в оптимальной минерализации костной ткани, в тонких отделах кишечника. Доказана теснейшая связь кальциевого гомеостаза и костного матрикса: этот биоэлемент является базовым для опорно-двигательного аппарата, гарантируя крепость и устойчивость скелета. В свою очередь, костная ткань – это основной резервуар кальция для организма человека, который при необходимости может пополнить резервы кальция в крови для реализации критически важных процессов нервно-мышечной передачи, тем самым снижая содержание этого элемента в остеоцитках (Корчина и др., 2024; Riccio, 2024).

Значительное распространение D-дефицитных состояний, выявленных в проведенном нами исследовании, тесно связано с интенсивным ро-

стом детей младшего школьного возраста, что требует расхода кальция для биосинтеза скелетной ткани и повышенных затрат неразрывно связанного с кальцием витамина D. Поэтому недостаточное поступление в организм ребенка витамина D и кальция способно детерминировать необратимую задержку его роста и развития, формирование сколиоза, плоскостопия, искривление нижних конечностей и деформирование тазовых костей (может вызвать развитие у женщин фертильного возраста осложнения в период родовой деятельности), ранний детский кариес и гиперметропию уже в начальных классах (Fischer et al., 2018).

Как было отмечено выше, только 20% витамина D поступает в организм с продуктами питания: наибольшее количество этого витамина содержат жирная рыба и икра, а существенно меньше витамина D наличествует в молочных продуктах и яйцах. При анализе рационов питания авторы установили значимый дефицит потребления витамина D, составляющий 47% от физиологической потребности (ФП) для детей данного возраста. Параллельно было проанализировано поступление кальция с пищей. Оказалось, что поступление кальция с рационами питания составило 79% ФП у школьников младших классов, проживающих на Севере (МР 2.3.1.0253-21). Доказано, что адекватная обеспеченность организма человека кальцием определяется, главным образом, оптимальным употреблением молочных продуктов, в основном молочнокислых, благодаря которым поступает большая часть требуемого организму кальция, причем лактоза и молочные белки потенцирует усвоение кальция в кишечнике (Yang et al., 2018).

Подтверждено поступление кальция с пищей и с питьевой водой. В Ханты-Мансийском автономном округе трудность адекватного поступления кальция в организм и, соответственно, оптимального обеспечения витамином D, затрудняется вви-

ду регулярного использования маломинерализованной питьевой воды ее населением, включая детей: содержание кальция в воде ХМАО примерно в 6 раз ниже физиологически наиболее благоприятных значений (Корчина, Корчин, 2022).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование выявило широко распространенный дефицит витамина D разной выраженности среди школьников младших классов г. Ханты-Мансийска. Это обусловлено, *во-первых*, очевидным недостатком его поступления с продуктами питания, составляющим менее половины от физиологически необходимого количества; *во-вторых*, дефицитом ультрафиолетового излучения, необходимого для синтеза витамина D в коже: ученые считают, что расположение территории выше 35° северной широты уже чревато препятствиями для создания физиологически оптимальных условий для эндогенного обеспечения организма человека этим витамином, к тому же, чем ближе к Северному Полюсу, тем острее угол солнцестояния и менее эффективна фотопродукция витамина D; *в-третьих*, ежедневное употребление ультрапресной воды с

низким содержанием в ней кальция, тесно связанного с метаболизмом витамина D, углубляет проблему обеспеченности данным витамином организма потребляющих такую воду людей; *в-четвертых*, проживание в северных регионах с длительным холодным периодом, сильными ветрами, низким парциальным давлением кислорода и пр. не способствует пребыванию и физической активности на свежем воздухе, что в еще большей степени затрудняет усвоение витамина D и кальция организмом людей.

Таким образом, согласно результатам проведенного исследования, засвидетельствована необходимость модернизации и рационализации рационов питания для школьников северного региона в сочетании с корректированием D-витаминового статуса с применением биологически активных добавок к пище и обогащенных этим микронутриентом пищевых продуктов, а также оптимизация физических нагрузок. Ликвидация витамин D-дефицитных состояний в современных условиях будет способствовать своевременной профилактике патологических состояний у населения высоких широт, в том числе детского, в обозримом и отдаленном периодах.

ЛИТЕРАТУРА

- Желтикова Т.М., Денисов Д.Г., Мокронослова М.А. Гендерные и возрастные особенности статуса витамина D (25(OH)D) в России. Русский медицинский журнал. 2019; 12: 51–56.
- Коденцова В.М., Рисник Д.В. Обеспеченность детей витамином D. Сравнительный анализ способов коррекции. Лечащий врач. 2020; 2: 35–43. DOI: 10.26295/OS.2020.95.40.007.
- Коденцова В.М., Леоненко С.Н., Вржесинская О.А., Рисник Д.В., Сокольников А.А. Обоснование системы эффективной коррекции сочетанной недостаточности микронутриентов. Микроэлементы в медицине. 2022; 23(3): 37–44. DOI: 10.19112/2413-6174-2022-23-3-37-44.
- Козлов А.И., Вершубская Г.Г. 25-гидроксивитамин D в различных группах населения севера России. Физиология человека. 2019; 45 (5): 125–136. DOI: 10.1134/S0131164619050060.
- Корчина Т.Я., Корчин В.И. Сравнительный анализ химического состава природных вод Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов. Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. 2022; 30(1): 43–47. DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-1-43-47.
- Корчина Т.Я., Корчин В.И., Федорова Е.П., Дьячков В.В., Грубый О.В., Ратиев А.В. и др. Состояние витамина D различных возрастных групп населения Ханты-Мансийска. Журнал медицинских и биологических исследований. 2024; 12(4): 466–474. DOI: 10.37482/2687-1491-Z215.
- Малявская С.И., Кострова Г.Н., Лебедев А.В. Уровень витамина D и факторы кардиоваскулярного риска в подростковом и молодом возрасте. Педиатрия. Consilium Medicum. 2021; 3: 271–276. DOI: 10.26442/26586630.2021.3.201198.
- Романцова Е.Б., Бабцева А.Ф., Борисенко Е.П., Приходько О.Б., Тимофеева Е.С. D-дефицитное состояние у часто болеющих детей в Амурской области. Практическая медицина. 2017; 5(106): 53–55.
- Суплотова Л.А., Авдеева В.А., Рожинская Л.Я. Статус витамина D у жителей Тюменского региона. Ожирение и метаболизм. 2019; 16(2): 69–74.
- Suplotova L.A., Avdeeva V.A., Pigarova E.A., Rozhinskaya L.Ya., Karonova T.L., Troshina E.A. The first Russian multicenter, non-interventional registry study to study the incidence of vitamin D deficiency and insufficiency in adults in the Russian Federation. Therapeutic Archives. 2021; 93 (10): 1209–1216. (In Russian). DOI: 10.26442/00403660.2021.10.201071.
- Amrein K., Scherkl M., Hoffmann M., Neuwersch-Sommeregger S., Köstenberger M., Tmava Berisha A., Martucci G., Pilz S., Malle O. Vitamin D deficiency 2.0: an update on the current status worldwide. Eur J Clin Nutr. 2020; 74(11): 1498–513. DOI: 10.1038/s41430-020-0558-y
- Dawson-Hughes B., Staten M.A., Knowler W.C., Nelson J., Vickery EM., LeBlanc ES et al. Intratrial exposure to vitamin D and new-onset diabetes among adults with prediabetes: a secondary analysis from the vitamin D and type 2 diabetes (D2d) study. Diabetes Care. 2020; 43 (1): 2916–2922. DOI: 10.2337/dc20-1765.
- Fischer V., Haffner-Luntzer M., Amling M., Ignatius A. Calcium and vitamin D in bone fracture healing and post-traumatic bone turnover. Eur. Cell. Mater. 2018; 35: 365–385. DOI: 10.22203/eCM.vo35a25.

Fung J.L., Hartman T.J., Schleicher R.L., Goldman M.B. Association of vitamin D intake and serum levels with fertility: Results from the Lifestyle and Fertility Study. *Fertil Steril.* 2017; 108: 302–11. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2017.05.037.

Kondratyeva E.I., Zakharova I.N., Ilenkova N.A., Klimov L.Ya., Petrova N.P., Zodbinova A.Э. et al. Vitamin D Status in Russian Children and Adolescents: Contribution of Genetic and Exogenous Factors. *Front Pediatr.* 2020; 8: 583206. DOI: 10.3389/fped.2020.583206.

Malyavskaya S., Kostrova G., Kudryavtzen A.V., Lebedev A. Low vitamin D levels among children and adolescents in an arctic population. *Scandinavian Journal of Public Health.* 2023; 51 (7): 1003–1008. DOI: 10.1177/14034948221092287.

Marino R., Misra M. Extra-Skeletal Effects of Vitamin D. *Nutrients.* 2019; 11 (7). Pii: E1460. DOI: 10.3390/nu11071460.

Michigami T. Rickets/Osteomalacia. Consensus on Vitamin D Deficiency and Insufficiency in Children. *Clin Calcium.* 2018; 28 (10): 1307–1311. DOI: CliCa181013071311.

Mirmamniha M., Faroughi F., Tahmasbpour E., Ebranimi P., Harchigari A. An overview on role of some trace elements in human reproductive health, sperm function and fertilization process. *Rev Environ Health.* 2019; 34 (4): 339–348. DOI: 10.1515/revveh-2019-0008.

Nälsén C., Becker W., Pearson M., Ridefelt P., Lindroos A.K., Kotova N. et al. Vitamin D status in children and adults in Sweden: dietary intake and 25-hydroxyvitamin D concentrations in children aged 10-12 years and adults aged 18-80 years. *J Nutr Sci.* 2020; 9: e47. DOI: 10.1017/jns.2020.40.

Riccio P. Vitamin D, the Sunshine Molecule That Makes Us Strong: What Does Its Current Global Deficiency Imply? *Nutrients.* 2024; 16(13): 2015. DOI: 10.3390/nu16132015.

Song K., Park G., Choi Y., Oh J.S., Choi H.S., Suh J. et al. Association of Vitamin D Status and Physical Activity with Lipid Profile in Korean Children and Adolescents: A Population-Based Study. *Children (Basel).* 2020; 7(11): 241. DOI: 10.3390/children7110241.

Yang L., Wenwen C., Yi Y., Qingping Z., Yang L., Lei Z. et al. Identification and characterisation of bifidobacteria in infant formula milk powder obtained from the Chinese market. Special Issue for the International Dairy Sci-Tech and Innovation Conference. Shanghai. 2018: 8–16. DOI: 10.1016/j.idairyj.2018.01.003.

Информация об авторе:

Илья Вячеславович Козловский – очный аспирант, кафедра физиологии и спортивной медицины

E-mail: info@ra-kurs.ru; http://orcid.org/0000-0001-8683-7319

VITAMIN D ACCESS IN PRIMARY SCHOOLCHILDREN KHANTY-MANSIYSK

I.V. Kozlovsky

Khanty-Mansiysk State Medical Academy;
40 Mira str., Khanty-Mansiysk, 628011, Russian Federation

ABSTRACT. Objective: to study the concentration of vitamin D in the blood serum of primary school-age children living in Khanty-Mansiysk. A total of 144 primary school students from Khanty-Mansiysk were examined. Of these, 53 (36,8%) were boys and 91 (63,2%) were girls, with an average age of 8,7±1,3 years. The concentration of vitamin D in the blood serum was determined using the enzyme-linked immunosorbent assay. The average values of vitamin D concentration were below the minimum limit of physiologically optimal values: 18 (12,5%) primary school students were adequately provided with this vitamin, its deficiency was established in 61 (42,4%) of observations, deficiency was detected in 57 (39,6%), and severe deficiency characterized the vitamin D status of 8 (5,5%) northern children. To improve health and prevent the development of pathological conditions associated with vitamin D deficiency, it is necessary to improve diet, take vitamin D-containing dietary supplements, and optimize physical activity.

KEYWORDS: primary school children, North, blood serum, vitamin D, calcium.

For citation: Kozlovsky I.V. Vitamin D access in primary schoolchildren Khanty-Mansiysk. *Trace elements in medicine.* 2025;26(4):41–46. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-4-41-46

REFERENCES

Zheltikova T.M., Denisov D.G., Mokronosova M.A. Gender and age characteristics of vitamin D (25(OH)D) status in Russia. *Russian Medical Journal.* 2019; 12: 51–56. (In Russian).

Kodentsova V.M., Risnik D.V. Vitamin D status of children. Comparative analysis of correction methods. *Attending physician.* 2020; 2: 35-43. (In Russian). DOI: 10.26295/OS.2020.95.40.007.

Kodentsova V.M., Leonenko S.N., Vrzhesinskaya O.A., Risnik D.V., Sokolnikov A.A. Justification of a system for effective correction of combined micronutrient deficiencies. *Microelements in Medicine.* 2022; 23(3): 37–44. (In Russian). DOI: 10.19112/2413-6174-2022-23-3-37-44.

Kozlov A.I., Vershubskaya G.G. 25-hydroxyvitamin D in different population groups of the Russian North. *Human Physiology.* 2019; 45 (5): 125–136. (In Russian). DOI: 10.1134/S0131164619050060.

Korchina T.Ya., Korchin V. I. Comparative analysis of the chemical composition of natural waters of the Khanty-Mansiysk and Yamalo-Nenets Autonomous Okrugs. *Population Health and Environment.* 2022; 30(1): 43–47. (In Russian). DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-1-43-47.

Korchina T.Ya., Korchin V.I., Fedorova E.P., Dyachkov V.V., Gruby O.V., Ratiev A.V., et al. Vitamin D status of different age groups of the Khanty-Mansiysk population. *Journal of Medical and Biological Research*. 2024; 12(4): 466–474. (In Russian). DOI: 10.37482/2687-1491-Z215.

Malyavskaya S.I., Kostrova G.N., Lebedev A.V. Vitamin D status and cardiovascular risk factors in adolescence and young adulthood. *Pediatrics. Consilium Medicum*. 2021; 3: 271–276. (In Russian). DOI: 10.26442/26586630.2021.3.201198.

Romantsova E.B., Babtseva A.F., Borisenko E.P., Prikhodko O.B., Timofeeva E.S. D-deficiency state in frequently ill children in the Amur region. *Practical medicine*. 2017; 5(106): 53–55. (In Russian).

Suplotova L.A., Avdeeva V.A., Rozhinskaya L.Ya. Vitamin D status in residents of the Tyumen region. *Obesity and Metabolism*. 2019; 16(2): 69–74. (In Russian).

Suplotova L.A., Avdeeva V.A., Pigarova E.A., Rozhinskaya L.Ya., Karonova T.L., Troshina E.A. The first Russian multicenter, non-interventional registry study to study the incidence of vitamin D deficiency and insufficiency in adults in the Russian Federation. *Therapeutic Archives*. 2021; 93 (10): 1209–1216. (In Russian). DOI: 10.26442/00403660.2021.10.201071.

Amrein K., Scherkl M., Hoffmann M., Neuwersch-Sommeregger S., Köstenberger M., Tmava Berisha A., Martucci G., Pilz S., Malle O. Vitamin D deficiency 2.0: an update on the current status worldwide. *Eur J Clin Nutr*. 2020; 74(11): 1498–513. DOI:10.1038/s41430-020-0558-y

Dawson-Hughes B., Staten M.A., Knowler W.C., Nelson J., Vickery EM., LeBlanc ES et al. Intratrial exposure to vitamin D and new-onset diabetes among adults with prediabetes: a secondary analysis from the vitamin D and type 2 diabetes (D2d) study. *Diabetes Care*. 2020; 43 (1): 2916–2922. DOI: 10.2337/dc20-1765.

Fischer V., Haffner-Luntzer M., Amling M., Ignatius A. Calcium and vitamin D in bone fracture healing and post-traumatic bone turnover. *Eur. Cell. Mater*. 2018; 35: 365–385. DOI: 10.22203/eCM.vo35a25.

Fung J.L., Hartman T.J., Schleicher R.L., Goldman M.B. Association of vitamin D intake and serum levels with fertility: Results from the Lifestyle and Fertility Study. *Fertil Steril*. 2017; 108: 302–11. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2017.05.037.

Kondratyeva E.I., Zakharova I.N., Ilenkova N.A., Klimov L.Ya., Petrova N.P., Zodbinova A.Э. et al. Vitamin D Status in Russian Children and Adolescents: Contribution of Genetic and Exogenous Factors. *Front Pediatr*. 2020; 8: 583206. DOI: 10.3389/fped.2020.583206.

Malyavskaya S., Kostrova G., Kudryavtzen A.V., Lebedev A. Low vitamin D levels among children and adolescents in an arctic population. *Scandinavian Journal of Public Health*. 2023; 51 (7): 1003–1008. DOI: 10.1177/14034948221092287.

Marino R., Misra M. Extra-Skeletal Effects of Vitamin D. *Nutrients*. 2019; 11 (7). Pii: E1460. DOI: 10.3390/nu11071460.

Michigami T. Rickets/Osteomalacia. Consensus on Vitamin D Deficiency and Insufficiency in Children. *Clin Calcium*. 2018; 28 (10): 1307–1311. DOI: CllCa181013071311.

Mirnamniha M., Faroughi F., Tahmasbpour E., Ebranimi P., Harchigari A. An overview on role of some trace elements in human reproductive health, sperm function and fertilization process. *Rev Environ Health*. 2019; 34 (4): 339–348. DOI: 10.1515/reveh-2019-0008.

Nälsén C., Becker W., Pearson M., Ridefelt P., Lindroos A.K., Kotova N. et al. Vitamin D status in children and adults in Sweden: dietary intake and 25-hydroxyvitamin D concentrations in children aged 10-12 years and adults aged 18-80 years. *J Nutr Sci*. 2020; 9: e47. DOI: 10.1017/jns.2020.40.

Riccio P. Vitamin D, the Sunshine Molecule That Makes Us Strong: What Does Its Current Global Deficiency Imply? *Nutrients*. 2024; 16(13): 2015. DOI: 10.3390/nu16132015.

Song K., Park G., Choi Y., Oh J.S., Choi H.S., Suh J. et al. Association of Vitamin D Status and Physical Activity with Lipid Profile in Korean Children and Adolescents: A Population-Based Study. *Children (Basel)*. 2020; 7(11): 241. DOI: 10.3390/children7110241.

Yang L., Wenwen C., Yi Y., Qingping Z., Yang L., Lei Z. et al. Identification and characterisation of bifidobacteria in infant formula milk powder obtained from the Chinese market. Special Issue for the International Dairy Sci-Tech and Innovation Conference. Shanghai. 2018: 8–16. DOI: 10.1016/j.idairyj.2018.01.003.

Information about the author:

Илья В. Козловский – Post-graduate Student, Department of Physiology and Sports Medicine

E-mail: info@ra-kurs.ru; <http://orcid.org/0000-0001-8683-7319>

Поступила 21 октября 2025 года
Принята к публикации 2 декабря 2025 года

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ ПАЦИЕНТОВ С БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМОЙ И ОЖИРЕНИЕМ

Г.П. Евсеева¹, С.В. Супрун¹, Р.С. Телепнева¹, Е.Н. Супрун^{1,2},
А.Е. Полтавченко¹, Е.В. Книжникова¹, В.К. Козлов¹, О.А. Лебедько¹

¹ Хабаровский филиал ФГБНУ «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» –

Научно-исследовательский институт охраны материнства и детства;

Российская Федерация, 680022, г. Хабаровск, ул. Воронежская 49, корп. 1

² ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет»;

Российская Федерация 680000, г. Хабаровск, ул. Муравьева-Амурского 35

РЕЗЮМЕ. Во всем мире отмечается рост числа пациентов, страдающих одновременно астмой и ожирением, коморбидность которых оказывает влияние на течение заболевания. Оба процесса являются хроническими, сложными и многофакторными по своей природе. В этиологии этих заболеваний играет роль дисбаланс микроэлементов в организме.

Цель исследования – изучение содержания микроэлементов в сыворотке крови у детей с бронхиальной астмой, коморбидной с ожирением.

Материалы и методы. Обследовано 46 детей с диагнозом бронхиальная астма, из них 26 пациентов с бронхиальной астмой и ожирением (основная группа) и 20 – с бронхиальной астмой и с нормальным индексом массы тела (группа сравнения). Группу контроля составили 26 здоровых детей, сопоставимых по полу и возрасту. Биохимическое исследование показателей белкового, углеводного и липидного спектра сыворотки проводили на биохимическом автоматическом анализаторе SAPPHIRE 400 (Япония). Исследование содержания МЭ в сыворотке крови выполняли методом атомно-абсорбционного анализа на спектрофотометре Hitachi Z300 (Япония).

Результаты. Микроэлементный профиль у детей с бронхиальной астмой и ожирением характеризовался снижением концентрации в сыворотке крови лития, марганца, меди, железа ($p < 0,05$) и повышением содержания никеля, кобальта, меди.

Заключение. Полученные данные указывают на тесную взаимосвязь между нарушением обмена веществ и воспалительными процессами при изучаемой нами патологии. Однако рассмотренные вопросы требуют дальнейшего изучения в рамках поиска значимых предикторов влияния микроэлементов на показатели углеводного и липидного обмена у детей с бронхиальной астмой и ожирением в зависимости от характера рациона питания, средовых и других факторов для создания персонализированных программ профилактики и коррекции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: микроэлементы, дети, бронхиальная астма, ожирение.

Для цитирования: Евсеева Г.П., Супрун С.В., Телепнева Р.С., Супрун Е.Н., Полтавченко А.Е., Книжникова Е.В., Козлов В.К., Лебедько О.А. Оценка содержания микроэлементов в сыворотке крови пациентов с бронхиальной астмой и ожирением. Микроэлементы в медицине. 2025;26(4):47–54. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-4-47-54.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на значительные успехи в лечении бронхиальной астмы (БА), достигнутые за последние 30 лет, улучшение результатов лечения данной нозологии замедлилось (Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention, 2021). У 20–30 % пациентов отмечаются трудные для терапии фенотипы БА (Чучалин и др., 2022). Поэтому, наряду с изучением основного механизма развития БА, большое внимание уделяется персонализированному

подходу к лечению с учетом фенотипов болезни и коморбидных состояний (Супрун и др., 2025).

Последние десятилетия одновременно с увеличением заболеваемости БА наблюдается и прогрессирующий рост числа лиц с избыточной массой тела разной степени выраженности, поэтому проблема коморбидности «БА+ожирение» стала еще более актуальной. Особенности клинического течения БА у лиц с ожирением позволили выделить особый фенотип – БА, ассоциированная с ожирением, когда наличие и выра-

* Адрес для переписки:

Супрун Евгений Николаевич

E-mail: evg-suprun@yandex.ru

женность ожирения определяет более тяжелое течение основного заболевания и считается трудным для лечения (Tay et al., 2016; Chen et al., 2017; De, Rastogi, 2019). Хотя патогенетические связи между БА и ожирением изучены недостаточно, предполагается, участие нескольких механизмов и перекрывающихся регуляторов (Mohan et al., 2019). Оба процесса являются хроническими, сложными и многофакторными по своей природе. Патофизиологические факторы, которые могут быть вовлечены в этот процесс, наряду с генетической предрасположенностью, включают в себя метаболическую дисфункцию, системное воспаление и окислительный стресс (Baruwa et al., 2013; Чичкова и др. 2019).

По мнению ряда авторов, средовые риски, связанные с изменением характера питания и физической активности, могут реализоваться через нарушение обеспеченности микронутриентами, в том числе микроэлементами (МЭ), которые участвуют в многочисленных биохимических процессах в организме, выполняя структурную, каталитическую и сигнальную функции (Скальный, Рудаков, 2004; Mao et al., 2018; Luo et al., 2024). Известно, что микроэлементы играют важную роль в поддержании нормального обмена веществ и в функционировании иммунной системы (Кудрин, Громова, 2007; Evseeva et al., 2021). Результаты анализа проведенных работ показывают существенное влияние дефицита цинка, селена, меди, магния и кальция на течение заболевания, способствуя развитию бронхиальной гиперреактивности, усилению оксидативного стресса и поддержанию хронического воспаления в дыхательных путях (Лапик, Гаппарова, 2025). В исследованиях отмечено, что повышенный уровень меди и железа указывает на их потенциальную роль в патогенезе БА. Кроме того, уровень железа в сыворотке крови повышается в результате воспалительного процесса, который происходит при БА. Низкий уровень цинка, магния и марганца может способствовать развитию аллергических заболеваний (Al-Fartusie et al., 2021).

Вместе с тем многие исследователи отмечают, что ожирение, так же как и БА, сопровождается нарушением гомеостаза ряда химических элементов (González-Domínguez et al., 2024). Так, Tinkov et al. (2015) выявили пониженное содержание хрома, ванадия и цинка в жировой ткани при ожирении. У детей с синдромом Дауна, ожирением и задержкой роста наблюдаются определённые сходства в содержании микроэлементов и

минералов, в частности сниженный уровень кальция, кобальта, меди, магния и цинка (Grabeklis et al. 2020). У египетских детей с ожирением не наблюдалось достоверных различий в уровне хрома, но выявлено снижение уровней цинка, селена и железа в сыворотке крови и повышение меди, которые были взаимосвязаны с показателями липидного обмена (Azab et al., 2014).

Представляется актуальным поиск ассоциаций содержания МЭ у детей с БА коморбидной с ожирением, так как оба эти состояния патогенетически сложны и могут вызывать проблемы с метаболизмом питательных веществ, в том числе инсулиновым обменом (Luo et al., 2024; Bartzioakas et al., 2024), и взаимно осложнять течение заболеваний. Исследование Pootheri et al. (2024) у взрослых пациентов показало отклонения в уровне микроэлементов и токсичных металлов в сыворотке крови, которые могут повышать риск для здоровья пациентов с БА и ожирением. У таких пациентов был низкий уровень цинка, железа, меди, магния, а также высокий уровень никеля, свинца, кадмия, хрома и кобальта по сравнению с контрольной группой.

Количественное определение микроэлементов и токсичных металлов может помочь в раннем выявлении заболевания и подборе соответствующей терапии.

Ц е л ь и с с л е д о в а н и я – изучение содержания микроэлементов в сыворотке крови у детей с бронхиальной астмой, коморбидной с ожирением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проведены с учетом требований Хельсинкской декларации «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием людей в качестве субъектов исследования» с поправками 2013 года. Дизайн исследования одобрен решением Этического комитета Хабаровского филиала ДНЦ ФПД – НИИ ОМИД, получено информированное согласие родителей всех детей на участие в исследовании.

В клинике Хабаровского филиала ДНЦ ФПД – НИИ ОМИД обследовано 46 детей с диагнозом БА, средний возраст которых составил $11,9 \pm 0,2$ года. Мальчиков – 54,7%, девочек – 45,3%. Обследование больных БА включало общеклинические, функциональные, инструментальные методы. Индекс массы тела (ИМТ) для соответствующего возраста и пола, рассчитывали в программе ChildrenBMI.com. Ожирение ди-

агностировали при двух и более стандартных отклонениях (SDS) значений ИМТ. *Критерии включения в основную группу:* наличие подтвержденного диагноза БА (J45; МКБ-10); наличие у пациента с БА ожирения, обусловленное избыточным поступлением энергетических ресурсов (Е66.0; МКБ-10). *Критерии невключения:* наличие подтвержденного диагноза БА с ИМТ ниже нормы или избытком массы тела (предожирение); ожирение не конституционально-экзогенного генеза. Из выборки, сформированной в соответствии с критериями включения/невключения, пациентов распределяли в группы детей с БА, ассоциированной с ожирением 1-3 степени (основная группа, $n=26$) и с БА с нормальным ИМТ (группа сравнения, $n=20$). Группу контроля составили 26 здоровых детей, сопоставимых по полу и возрасту.

Биохимическое исследование показателей белкового (общий белок), углеводного (глюкоза) и липидного спектра сыворотки крови (общий холестерин, триглицериды, холестерин липопротеинов высокой плотности (ЛПВП), холестерин липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) проводили на биохимическом автоматическом анализаторе SAPPHIRE 400 (Япония).

Методом атомно-абсорбционного анализа на спектрофотометре Hitachi Z300 (Япония) определяли содержание цинка, железа, свинца, никеля, лития, марганца, меди, кобальта, селена, хрома в сыворотке крови.

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью программного пакета Excel 2016 (Microsoft, США) и Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США). Описание выборки выполняли с помощью подсчета медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 1-го и 3-го квартилей (Q_{25} и Q_{75}).

Достоверность различий между показателями независимых выборок оценивали по непараметрическому критерию Манна-Уитни.

Взаимозависимость признаков определяли с использованием коэффициента корреляции Спирмена. Критическую величину уровня значимости принимали равной 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ показателей микроэлементов в исследуемых группах выявил различия в концентрации у пациентов с БА, ожирением и нормальным ИМТ, а также с группой контроля (табл. 1).

Таблица 1. Содержание микроэлементов у детей с бронхиальной астмой, Me (25% – 75%Q)

Элемент	Основная группа ($n=26$)	Группа сравнения ($n=20$)	Контрольная группа ($n=26$)
Никель, мкмоль/л	$0^{\Delta\Delta, **}$ 0–0,6812	0^{Δ} 0–0	0 0–0,1509
Кобальт, мкмоль	$0,42^{*\Delta}$ 0,0967–0,498	0,193 0–0,3666,	0,25 0,158–0,356
Литий, мкмоль/л	$0^{*\Delta}$ 0–0,86	0,26 0–0,52	0,1441 0–1,15
Марганец, мкмоль/л	$0,15^*$ 0,11–0,30	0,21 (0,13–6,39)	0,228 0,126–0,437
Селен, мкмоль/л	1,08 0,89–1,39	1,04 0,96–1,17	0,984 0,577–1,272
Свинец, мкмоль/л	0^{**} 0–0,1448	$0^{\Delta\Delta}$ 0–0,188	0 0–0,1737
Хром, мкг/л	0,28 0,003–0,628	0,011 0,002–0,017	0,016 0,006–0,431
Медь, мкг/л	$1,10^{*\Delta}$ 0,901–1,45	0,78 0,63–0,96	0,74 0,14–1,103
Цинк, мкг/л	2,034 1,73–2,46	2,33 0,064–2,34	2,67 2,301–2,92
Железо, мкг/л	$1,91^{*\Delta}$ 0,94–1,68	2,12 1,55–2,43	2,19 1,47–2,49

Примечание: * – $p < 0,05$ по отношению к группе сравнения; ** – $p < 0,001$ по отношению к группе сравнения; Δ – $p < 0,05$ по отношению к группе "контроль"; $\Delta\Delta$ – $p < 0,001$ по отношению к группе "контроль".

Микроэлементный гомеостаз у больных БА с ожирением характеризовался достоверным повышением содержания никеля, как с группой сравнения, так и с группой контроля ($p<0,001$). В исследовании Feng et al. (2015) показано, что концентрация никеля коррелирует с уровнем глюкозы в крови натощак и риском развития сахарного диабета. Повышенная концентрация кобальта в сыворотке крови у детей основной группы была увеличена в 2 раза по сравнению с пациентами, страдающими БА, но без ожирения и в 1,7 раза – по сравнению с контрольной группой ($p<0,05$). Концентрация меди в сыворотке крови основной группы была в 1,4 раза выше, чем в других группах обследованных детей ($p<0,05$). Эффекты кобальта и меди могут проявляться в регуляции иммунной реакции, в том числе аллергических процессов (Кудрин, Громова, 2007). Показано, что эти МЭ усиливают действие инсулина за счет активации инсулиновых рецепторов и играют определённую роль в патогенезе и прогрессировании сахарного диабета 2-го типа (Dubey et al., 2020).

У детей основной группы выявлен сниженный уровень лития, марганца, железа ($p<0,05$). Наряду с участием этих элементов в процессах иммуногенеза, имеются данные об их участии в жировом и углеводном обменах; так, литий обладает инсулиноподобным эффектом (Гальченко, Шерстнева, 2015). Марганец участвует в метаболизме липидов, влияя на биосинтез холестерина и липопротеинов высокой плотности (Kim et al., 2013).

Многие авторы указывают на роль дисбаланса цинка, хрома, селена в нарушении процес-

сов метаболизма, снижения устойчивости организма к действию инфекционных агентов и других неблагоприятных факторов внешней среды (Dubey et al., 2020; Luo et al., 2020; Болотова и др., 2022;), однако нами не выявлено статистически значимых различий в их концентрациях в обследованных группах.

Анализ влияния дисбаланса МЭ на течение заболевания БА у пациентов с ожирением и у детей с БА и нормальным индексом массы тела (ИМТ) выявил статистически значимое снижение содержания селена в сыворотке крови у детей с тяжелым течением заболевания $0,79\pm 0,11$ мкмоль/л против $1,57\pm 0,11$ мкмоль/л у детей с легким течением (ОШ 1,915 [95% ДИ: 1,04–3,665, $p<0,001$]).

В ряде исследований описывается взаимосвязь уровня МЭ с дислипидемией и нарушениями углеводного обмена (Скальный, Рудаков, 2004).

Сравнительный анализ биохимических показателей сыворотки крови у пациентов с ожирением выявил более высокий уровень холестерина ($4,7\pm 0,3$ ммоль/л) по сравнению с таковым у пациентов с нормальным ИМТ: $3,9\pm 0,1$ ммоль/л, $p<0,05$) и ЛПНП ($2,9\pm 0,1$ ммоль/л и $2,2\pm 0,1$ ммоль/л, $p<0,001$) (рис. 1).

Корреляционный анализ выявил достоверно значимые взаимосвязи между уровнем общего белка и концентрации меди ($r=0,506$) и холестерина ($r=0,423$); уровнем ЛПВП и марганца ($r=0,714$); хрома и глюкозы ($r=-0,385$); содержание кобальта коррелировало с уровнем холестерина ($r=0,708$) и ЛПНП ($r=0,691$).

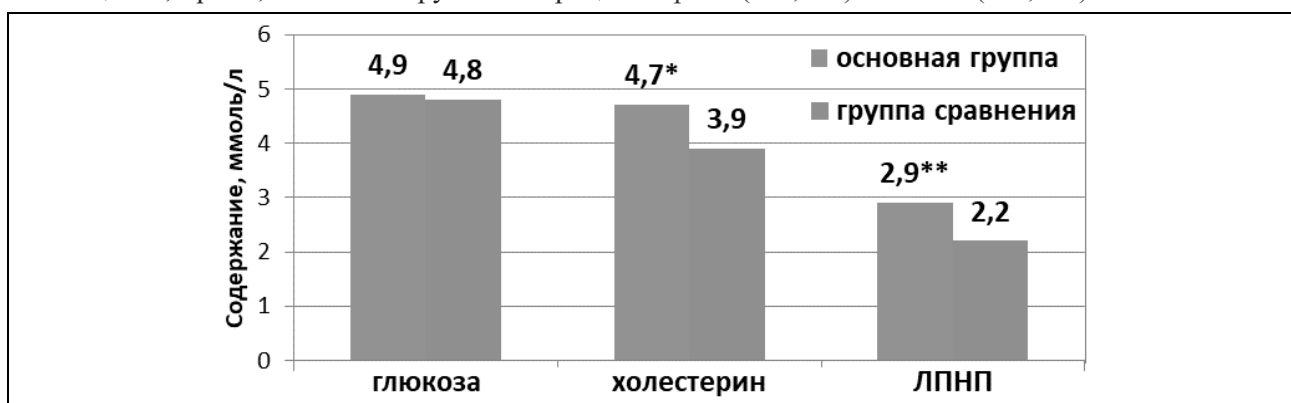


Рис. 1. Показатели уровня глюкозы, холестерина и ЛПНП у детей с бронхиальной астмой и ожирением (основная группа) и без ожирения (группа сравнения)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ожирение признано важным сопутствующим заболеванием у пациентов с бронхиальной астмой, представляющим собой уникальный фенотип но-

зологии. Полученные данные указывают на тесную взаимосвязь между нарушением обмена веществ и воспалительными процессами при данной патологии. Выявлены различия в содержании микроэле-

ментов у детей с БА и ожирением при сравнении с другими обследованными группами (БА без ожирения и с нормальным ИМТ), из них только селен был взаимосвязан с тяжелым течением БА у детей с ожирением. У пациентов, страдающих БА, ассоциированной с ожирением, выявлены корреляционные зависимости уровней микроэлементов в сыворотке крови с показателями белкового, липидного и углеводного обменов, которые могут играть

роль в патогенезе как БА, так и ожирения. Эти вопросы требуют дальнейшего изучения в рамках поиска значимых предикторов влияния микроэлементов на показатели углеводного и липидного обмена у детей с бронхиальной астмой и ожирением в зависимости от характера рациона питания, средовых и других факторов, в том числе генетических, для создания персонализированных программ профилактики и коррекции.

ЛИТЕРАТУРА

- Болотова Н.В., Скальный А.А., Филина Н.Ю., Чередникова К.А., Курдиян М.С., Логачева О.А., Бочкарев И.А., Сухушина Е.Е. Проявление микроэлементозов у детей с различным нутритивным статусом. *Микроэлементы в медицине*. 2022; 23(4): 62–69. DOI: 10.19112/2413-6174-2022-23-4-62-69.
- Гальченко А.В., Шерстнева А.А. Условно-эссенциальные ультрамикроэлементы в питании вегетарианцев и веганов: никель, литий, ванадий, германий. *Микроэлементы в медицине*. 2015; 16(2): 42–46. DOI: 10.19112/2413-6174-2021-22-2-3-16.
- Кудрин А.В., Громова О.А. Микроэлементы в иммунологии и онкологии. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. 544 с.
- Лапик И.А., Гаппарова К.М. Макро- и микроэлементы в патогенезе и терапии бронхиальной астмы: молекулярные механизмы и доказательная база. *Микроэлементы в медицине*. 2025; 26(3): 3–10. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-3-3-10.
- Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. М.: Изд. дом "ОНИКС 21 век": Мир, 2004. 272 с.
- Супрун Е.Н., Супрун С.В., Евсеева Г.П., Лебедько О.А. Экзогенные факторы, оказывающие влияние на течение бронхиальной астмы. *Якутский медицинский журнал*. 2025; 91(3): 123–127. DOI: 10.25789/УМЖ.2025.91.27.
- Чичкова Н.В., Гаспарян А.А., Гитель Е.П., Серова Н.С., Фомин В.В. Бронхиальная астма у пациентов с избыточной массой тела и ожирением: оценка адипокинового профиля с учетом разных фракций жировой ткани. *Практическая пульмонология*. 2019; 3: 4–9.
- Чучалин А.Г., Авдеев С.Н., Айсанов З.Р., Белевский А.С., Васильева О.С., Геппе Н.А., Игнатова Г.Л., Княжеская Н.П., Малахов А.Б., Мещерякова Н.Н., Ненашева Н.М., Фассахов Р.С., Хаитов Р.М., Ильина Н.И., Курбачева О.М., Астафьева Н.Г., Демко И.В., Фомина Д.С., Намазова-Баранова Л.С., Баранов А.А., Вишнева Е.А., Новик Г.А. Бронхиальная астма: федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению. *Пульмонология*. 2022; 32(3): 393–447. DOI: 10.18093/0869-0189-2022-32-3-393-447.
- Al-Fartusie F.S., Abood M.J., Al-Bairmani H.K., Mohammed A.S. Evaluation of some trace elements in sera of asthma patients: a case control study. *Folia Med. (Plovdiv)*. 2021. 63(5): 797–804. DOI: 10.3897/folmed.63.e60506.
- Azab S.F., Saleh S.H., Elsaed W.F., Elshafie M.A., Sherief L.M., Esh A.M.H. Serum trace elements in obese Egyptian children: a case-control study. *Ital. J. Pediatr.* 2014; 40: 20. DOI: 10.1186/1824-7288-40-20.
- Bartziokas K., Papaioannou A.I., Drakopanagiotakis F., Gouveri E., Papanas N., Steiropoulos P. Unraveling the Link between Insulin Resistance and Bronchial Asthma. *Biomedicines*. 2024 Feb 16; 12(2): 437. DOI: 10.3390/biomedicines12020437.
- Baruwa P., Sarmah K.R. Obesity and asthma. *Lung India*. 2013; 30(1): 38–46. DOI: 10.4103/0970-2113.106132.
- Chen Z., Salam M.T., Alderete T.L., Habre R., Bastain T.M., Berhane K, Gilliland F.D. Effects of childhood asthma on the development of obesity among school-aged children. *Am. J. Respir. Crit. Care Med*. 2017; 195: 1181–1188. DOI: 10.1164/rccm.201608-1691OC.
- De A., Rastogi D. Association of pediatric obesity and asthma, pulmonary physiology, metabolic dysregulation, and atopy; and the role of weight management. *Expert Rev. Endocrinol. Metab*. 2019; 14: 335–49. DOI: 10.1080/17446651.2019.1635007.
- Dubey P., Thakur V., Chattopadhyay M. Role of Minerals and Trace Elements in Diabetes and Insulin Resistance. *Nutrients*. 2020; 12(6): 1864. DOI: 10.3390/nu12061864.
- Evseeva G.P., Suprun S.V., Kozlov V.K., Suprun E.N., Lebed'ko O.A. Influence of imbalance of trace elements on the function of the immune system. *Trace Elements and Electrolytes*. 2021; 38(3): 138. DOI: 10.5414/TEX01685.
- Feng W., Cui X., Liu B., Liu C., Xiao Y., Lu W., Guo H., He M., Zhang X., Yuan J., Chen W., Wu T. Association of urinary metal profiles with altered glucose levels and diabetes risk: a population-based study in China. *PLoS One*. 2015; 10(4): e0123742. DOI: 10.1371/journal.pone.0123742.
- Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention, 2021. Available online at: www.ginasthma.org.
- González-Domínguez Á., Jurado-Sumariva L., González-Domínguez R. Association between childhood obesity, trace elements, and heavy metals: Recent discoveries and future perspectives. *Obes Rev*. 2024; 25(8): e13764. DOI: 10.1111/obr.13764.
- Grabeklis A.R., Skalny A.V., Ajsuvakova O.P., Skalnova A.A., Mazaletskaya A.L., Klochkova S.V., Chang S.J.S., Nikitjuk D.B., Skalnova M.G., Tinkov A.A. A Search for Similar Patterns in Hair Trace Element and Mineral Content in Children with Down's Syndrome, Obesity, and Growth Delay. *Biol. Trace Elem. Res*. 2020; 196(2): 607–617. DOI: 10.1007/s12011-019-01938-6.
- Kim M.H., Choi M.K. Seven Dietary Minerals (Ca, P, Mg, Fe, Zn, Cu, and Mn) and Their Relationship with Blood Pressure and Blood Lipids in Healthy Adults with Self-Selected Diet. *Biol Trace Elem Res*. 2013; 153: 69–75. DOI: 10.1007/s12011-013-9656-1.
- Luo L., Chen G., Zhou Y., Xiang Y., Peng J. Dietary intake, antioxidants, minerals and vitamins in relation to childhood asthma: a Mendelian randomization study. *Front. Nutr*. 2024; 11: 1401881. DOI: 10.3389/fnut.2024.1401881.

Luo X., Liu Z., Ge X., Huang S., Zhou Y., Li D., Li L., Chen X., Huang L., Hou Q., Cheng H., Xiao L., Liu C., Zou Y., Yang X. High manganese exposure decreased the risk of high triglycerides in workers: a cross-sectional study. *BMC Public Health*. 2020; 20(1): 874. DOI: 10.1186/s12889-020-09011-x.

Luo Y., Luo D., Li M., Tang B. Insulin Resistance in Pediatric Obesity: From Mechanisms to Treatment Strategies. *Pediatr Diabet*. 2024 Jun 28; 2024: 2298306. DOI: 10.1155/2024/2298306.

Mao S., Wu L., Shi W. Association between trace elements levels and asthma susceptibility. *Respir. Med*. 2018; 145:110–119. DOI: 10.1016/j.rmed.2018.10.028.

Mohan A., Grace J., Wang B.R., Lugogo N. The effects of obesity in asthma. *Curr. Allergy Asthma Rep*. 2019; 19: 49. DOI: 10.1007/s11882-019-0877-z.

Poothari A., Lopez W.M., Saraswathy R. A case-control study on asthma and obese patients: Influence of lifestyle patterns, serum trace elements, heavy metals, and total antioxidants. *Heliyon*. 2024; 10: e29270. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e29270.

Tay T.R., Radhakrishna N., Hore-Lacy F., Smith C., Hoy R., Dabscheck E., Hew M. Comorbidities in difficult 93 asthma are independent risk factors for frequent exacerbations, poor control and diminished quality of life. *Respirology*. 2016; 21(8): 1384–1390. DOI: 10.1111/resp.12838.

Tinkov A.A., Sinitskii A.I., Popova E.V., Nemereshina O.N., Gatiatulina E.R., Skalnaya M.G., Skalny A.V., Nikonov A.A. Alteration of local adipose tissue trace element homeostasis as a possible mechanism of obesity-related insulin resistance. *Med Hypotheses*. 2015; 85(3): 343–347. DOI: 10.1016/j.mehy.2015.06.005.

Информация об авторах:

Галина Петровна Евсева – д.м.н., зам. директора по научной работе,
гл. науч. сотрудник группы медико-экологических проблем здоровья матери и ребенка,
лаборатория комплексных методов исследования бронхолегочной и перинатальной патологии
E-mail: evseeva@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7528-7232>

Стефания Викторовна Супрун – д.м.н., гл. науч. сотрудник группы медико-экологических проблем
здоровья матери и ребенка, лаборатория комплексных методов исследования
бронхолегочной и перинатальной патологии
E-mail: stefanya-suprun@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6724-3654>

Регина Сергеевна Телепнёва – науч. сотрудник группы медико-экологических проблем
здоровья матери и ребенка, лаборатория комплексных методов исследования
бронхолегочной и перинатальной патологии
E-mail: purykin84@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2873-2353>

Евгений Николаевич Супрун – д.м.н., ст. науч. сотрудник группы медико-экологических проблем
здоровья матери и ребенка, лаборатория комплексных методов исследования
бронхолегочной и перинатальной патологии¹;
доцент кафедры госпитальной и факультетской терапии с курсом пропедевтики детских болезней²
E-mail: evg-suprun@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1089-8844>

Алеся Евгеньевна Полтавченко – аспирант
E-mail: panova.alesya@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-5062-8659>

Елена Владимировна Книжникова – аспирант
E-mail: 1904lenok@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0377-4805>

Владимир Кириллович Козлов – д.м.н., профессор, чл.-корр. РАН,
гл. науч. сотрудник группы медико-экологических проблем здоровья матери и ребенка,
лаборатория комплексных методов исследования бронхолегочной и перинатальной патологии
E-mail: iomid@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9978-1043>

Ольга Антоновна Лебедько – д.м.н., директор
E-mail: leoaf@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8855-7422>

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ASSESSMENT OF THE CONTENT OF MICROELEMENTS IN THE SERUM OF PATIENTS WITH BRONCHIAL ASTHMA AND OBESITY

**G.P. Evseeva¹, S.V. Suprun¹, R.S. Telepneva¹, E.N. Suprun^{1,2}, A.E. Poltavchenko¹,
E.V. Knizhnikova¹, V.K. Kozlov¹, O.A. Lebedko¹**

¹ Khabarovsk Branch of the Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology
of Respiration – Research Institute of Maternity and Childhood Protection;
49/1 Voronezhskaya Str., Khabarovsk, 680022, Russian Federation

² Far Eastern State Medical University;

35 Murav'eva-Amurskogo Str., Khabarovsk, 680000, Russian Federation

ABSTRACT. The number of patients suffering from both asthma and obesity is increasing, which affects the course of the disease. Both processes are chronic, complex, and multifactorial in nature, and the imbalance of micronutrients in the body plays a role in their etiology.

The aim of this study is to investigate the serum levels of micronutrients in children with asthma comorbid with obesity.

Materials and methods. 46 children with a diagnosis of BA were examined, including 26 patients with BA and obesity (the main group) and 20 patients with BA and normal BMI (the comparison group). The control group consisted of 26 healthy children of the same gender and age. Biochemical study of protein, carbohydrate and lipid spectrum of serum was carried out on a biochemical automatic analyzer SAPPHERE 400 (Japan). The study of ME content in blood serum was carried out by atomic absorption analysis on a spectrophotometer Hitachi Z300 (Japan).

Results. The microelement profile in children with BA and obesity was characterized by a decrease in the concentration of lithium, manganese, copper, iron in the blood serum ($p < 0.05$) and an increase in the content of nickel, cobalt, copper.

Conclusion. The obtained data indicate a close relationship between metabolic disorders and inflammatory processes in the pathology under study. However, these issues require further study in the search for significant predictors of the influence of micronutrients on carbohydrate and lipid metabolism in children with bronchial asthma and obesity, depending on diet, environmental, and other factors, including genetic ones, in order to develop personalized prevention and treatment programs.

KEYWORDS: micronutrients, children, bronchial asthma, obesity

For citation: Evseeva G.P., Suprun S.V., Telepneva R.S., Suprun E.N., Poltavchenko A.E., Knizhnikova E.V., Kozlov V.K., Lebedko O.A. Assessment of the content of microelements in the serum of patients with bronchial asthma and obesity. Trace elements in medicine. 2025;26(4):47–54. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-4-47-54

REFERENCES

- Al-Fartusie F.S., Abood M.J., Al-Bairmani H.K., Mohammed A.S. Evaluation of some trace elements in sera of asthma patients: a case control study. *Folia Med. (Plovdiv)*. 2021; 63(5):797-804. DOI: 10.3897/folmed.63.e60506.
- Azab S.F., Saleh S.H., Elsaed W.F., Elshafie M.A., Sherief L.M., Esh A.M.H. Serum trace elements in obese Egyptian children: a case-control study. *Ital. J. Pediatr.* 2014; 40: 20. DOI: 10.1186/1824-7288-40-20.
- Bartziokas K., Papaioannou A.I., Drakopanagiotakis F., Gouveri E., Papanas N., Steiropoulos P. Unraveling the Link between Insulin Resistance and Bronchial Asthma. *Biomedicines*. 2024 Feb 16;12(2):437. DOI: 10.3390/biomedicines12020437.
- Baruwa P., Sarmah K.R. Obesity and asthma. *Lung India*. 2013; 30(1): 38–46. DOI: 10.4103/0970-2113.106132.
- Bolotova N.V., Skalny A.A., Filina N.Yu., Cherednikova K.A., Kurdiyana M.S., Logacheva O.A., Bochkarev I.A., Cuhushina E.E. Manifestation of microelementoses in children with different nutritional status. *Trace elements in medicine*. 2022; 23(4): 62–69. DOI: 10.19112/2413-6174-2022-23-4-62-69 (In Russian).
- Chen Z., Salam M.T., Alderete T.L., Habre R., Bastain T.M., Berhane K, Gilliland F.D. Effects of childhood asthma on the development of obesity among school-aged children. *Am. J. Respir. Crit. Care Med*. 2017; 195:1181–8. DOI: 10.1164/rccm.201608-1691OC 31.
- Chichkova N.V., Gasparyan A.A., Gitel E.P., Serova N.S., Fomin V.V. Asthma in Overweight and Obese Patients: Assessment of Adipokine Profile with Different Fractions of Adipose Tissue. *Practical pulmonology*. 2019; 3: 4–9. (In Russian).
- Chuchalin A.G., Avdeev S.N., Aisanov Z.R., Belevskiy A.S., Vasil'eva O.S., Geppe N.A., Ignatova G.L., Knyazheskaya N.P., Malakhov A.B., Meshcheryakova N.N., Nenasheva N.M., Fassakhov R.S., Khaitov R.M., Il'ina N.I., Kurbacheva O.M., Astafieva N.G., Demko I.V., Fomina D.S., Namazova-Baranova L.S., Baranov A.A., Vishneva E.A., Novik G.A. Federal guidelines on diagnosis and treatment of bronchial asthma. *Pul'monologiya*. 2022; 32 (3): 393–447. DOI: 10.18093/0869-0189-2022-32-3-393-447. (In Russian).
- De A., Rastogi D. Association of pediatric obesity and asthma, pulmonary physiology, metabolic dysregulation, and atopy; and the role of weight management. *Expert Rev. Endocrinol. Metab*. 2019; 14: 335–49. DOI: 10.1080/17446651.2019.1635007.
- Dubey P., Thakur V., Chattopadhyay M. Role of Minerals and Trace Elements in Diabetes and Insulin Resistance. *Nutrients*. 2020;12(6): 1864. DOI: 10.3390/nu12061864.
- Evseeva G.P., Suprun S.V., Kozlov V.K., Suprun E.N., Lebed'ko O.A. Influence of imbalance of trace elements on the function of the immune system. *Trace Elements and Electrolytes*. 2021; 38(3): 138. DOI 10.5414/TEX01685.
- Feng W., Cui X., Liu B., Liu C., Xiao Y., Lu W., Guo H., He M., Zhang X., Yuan J., Chen W., Wu T. Association of urinary metal profiles with altered glucose levels and diabetes risk: a population-based study in China. *PLoS One*. 2015; 10(4): e0123742. DOI: 10.1371/journal.pone.0123742.
- Galchenko A.V., Sherstneva A.A. Conditionally essential ultra trace elements in nutrition of vegetarians and vegans. nickel, lithium, vanadium, germanium. *Trace elements in medicine*. 2015; 16(2): 42–46. DOI: 10.19112/2413-6174-2021-22-2-3-16. (In Russian).
- Global Initiative for Asthma. *Global Strategy for Asthma Management and Prevention*, 2021. Available online at: www.ginasthma.org.
- González-Domínguez Á., Jurado-Sumariva L., González-Domínguez R. Association between childhood obesity, trace elements, and heavy metals: Recent discoveries and future perspectives. *Obes Rev*. 2024; 25(8): e13764. DOI: 10.1111/obr.13764.
- Grabeklis A.R., Skalny A.V., Ajsuvakova O.P., Skalnaya A.A., Mazaletskaia A.L., Klochkova S.V., Chang S.J.S., Nikitjuk D.B., Skalnaya M.G., Tinkov A.A. A Search for Similar Patterns in Hair Trace Element and Mineral Content in Children with Down's Syndrome, Obesity, and Growth Delay. *Biol. Trace Elem. Res*. 2020; 196(2): 607–617. DOI: 10.1007/s12011-019-01938-6.

- Kim M.H., Choi M.K. Seven Dietary Minerals (Ca, P, Mg, Fe, Zn, Cu, and Mn) and Their Relationship with Blood Pressure and Blood Lipids in Healthy Adults with Self-Selected Diet. *Biol Trace Elem.* 2013; 153: 69–75. DOI: 10.1007/s12011-013-9656-1.
- Kudrin A.V., Gromova O.A. *Microelements in Immunology and Oncology*. Moscow: GEOTAR-Media, 2007. 544 p. (In Russian).
- Lapik I.A., Gapparova K.M. Macro- and microelements in the pathogenesis and therapy of bronchial asthma: molecular mechanisms and evidence base. *Trace elements in medicine.* 2025; 26(3): 3–10. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-3-3-10. (In Russian).
- Luo L., Chen G., Zhou Y., Xiang Y., Peng J. Dietary intake, antioxidants, minerals and vitamins in relation to childhood asthma: a Mendelian randomization study. *Front. Nutr.* 2024; 11: 1401881. DOI: 10.3389/fnut.2024.1401881.
- Luo X., Liu Z., Ge X., Huang S., Zhou Y., Li D., Li L., Chen X., Huang L., Hou Q., Cheng H., Xiao L., Liu C., Zou Y., Yang X. High manganese exposure decreased the risk of high triglycerides in workers: a cross-sectional study. *BMC Public Health.* 2020; 20(1): 874. DOI: 10.1186/s12889-020-09011-x.
- Luo Y., Luo D., Li M., Tang B. Insulin Resistance in Pediatric Obesity: From Mechanisms to Treatment Strategies. *Pediatr Diabetes.* 2024 Jun 28; 2024: 2298306. DOI: 10.1155/2024/2298306.
- Mao S., Wu L., Shi W. Association between trace elements levels and asthma susceptibility. *Respir. Med.* 2018; 145:110–119. DOI: 10.1016/j.rmed.2018.10.028.
- Mohan A., Grace J., Wang B.R., Lugogo N. The effects of obesity in asthma. *Curr. Allergy Asthma Rep.* 2019; 19:49. DOI: 10.1007/s11882-019-0877-z.
- Poothari A., Lopez W.M., Saraswathy R. A case-control study on asthma and obese patients: Influence of lifestyle patterns, serum trace elements, heavy metals, and total antioxidants. *Heliyon.* 2024; 10: e29270. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e29270.
- Skalny A.V. Rudakov I.A. *Bioelements in Medicine*. Moscow: ONIKS 21 Century Publishing House: Mir. 2004. 272 p. (In Russian).
- Suprun E.N., Suprun S.V., Evseeva G.P., Lebedko O.A. Exogenous factors influencing the course of bronchial asthma. *Yakut Medical Journal.* 2025; 91(3): 108–111. DOI: 10.25789/YMJ.2025.91.27. (In Russian).
- Tay T.R., Radhakrishna N., Hore-Lacy F., Smith C., Hoy R., Dabscheck E., Hew M. Comorbidities in difficult 93 asthma are independent risk factors for frequent exacerbations, poor control and diminished quality of life. *Respirology.* 2016; 21(8): 1384–1390. DOI: 10.1111/resp.12838.
- Tinkov A.A., Sinitiskii A.I., Popova E.V., Nemereshina O.N., Gatiatulina E.R., Skalnaya M.G., Skalny A.V., Nikonorov A.A. Alteration of local adipose tissue trace element homeostasis as a possible mechanism of obesity-related insulin resistance. *Med Hypotheses.* 2015; 85(3): 343–7. DOI: 10.1016/j.mehy.2015.06.005.

Information about the authors:

- Galina P. Evseeva** – Dr.Sc. (Med.), Deputy Director on Scientific Work,
Chief Research Scientist of the Group of Health and Environmental Problems of Mother and Child Health,
Laboratory of Integral Methods of Bronchopulmonary and Perinatal Pathology Research
E-mail: evceewa@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7528-7232>
- Stefania V. Suprun** – Dr.Sc. (Med.), Chief Research Scientist of the Group of Health and Environmental Problems
of Mother and Child Health, Laboratory of Integral Methods of Bronchopulmonary and Perinatal Pathology Research
E-mail: stefanya-suprun@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6724-3654>
- Regina S. Telepneva** – Research Scientist of the Group of Health and Environmental Problems of Mother and Child Health,
Laboratory of Integral Methods of Bronchopulmonary and Perinatal Pathology Research
E-mail: pupykin84@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2873-2353>
- Evgeniy N. Suprun** – Dr.Sc. (Med.), Senior Research Scientist of the Group of Health and Environmental Problems
of Mother and Child Health, Laboratory of Integral Methods of Bronchopulmonary and Perinatal Pathology Research¹;
Associate Professor, Department of Hospital and Faculty Pediatrics with a Course of Propaedeutics
of Children's Diseases²
E-mail: evg-suprun@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1089-8844>
- Alesya E. Poltavchenko** – Post-graduate Student
E-mail: panova.alesya@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-5062-8659>
- Elena V. Knizhnikova** – Post-graduate Student
E-mail: 1904lenok@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0377-4805>
- Vladimir K. Kozlov** – Dr.Sc. (Med.), Professor, Corresponding Member of RAS, Chief Research Scientist
E-mail: iomid@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9978-1043>
- Olga A. Lebed'ko** – Dr.Sc. (Med.), Director of the Khabarovsk Branch of Far-Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration – Research Institute of Maternity and Childhood Protection
E-mail: leoaf@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8855-7422>

Conflict of interest

The authors declare no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Поступила 24 октября 2025 года
Принята к публикации 30 ноября 2025 года

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

**УЧАСТИЕ БИОЭЛЕМЕНТОВ В АДАПТАЦИИ
МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ
К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ ФАКТОРАМ ВЫСОКИХ ШИРОТ****М.О. Гайков**Ханты-Мансийская государственная медицинская академия;
Российская Федерация, 628011, г. Ханты-Мансийск, ул. Мира, д. 40

РЕЗЮМЕ. Система окислительного метаболизма, состоящая из про- и антиоксидантных звеньев, является важнейшей для адаптации человека. На Севере наблюдается смещение баланса окислительно-восстановительного равновесия в сторону окислительных агентов из-за присоединения экологически обусловленного северного стресса. Перекисному окислению липидов противостоит антиоксидантная система защиты организма, включающая в себя биоэлементы селен, цинк, медь и магний. Среди всех трудящихся наибольшему прессингу профессионального стресса подвержены медицинские работники.

Цель исследования – изучение содержания селена, цинка, меди и магния в волосах у медиков Севера.

Материалы и методы. Обследовано 100 врачей и медсестер Окружной клинической больницы г. Ханты-Мансийска: 27 мужчин и 73 женщины (37,1±2,5 года). Концентрацию Se, Zn, Cu, Mg в волосах устанавливали методом ИСП-МС.

Результаты. Средние величины содержания селена, цинка, меди, магния в волосах размещались у нижней границы нормы. Дефицит селена разной степени выявлен у 48%, неглубокая недостаточность цинка, меди, магния установлена у 32, 29, 22% медицинских работников Севера соответственно.

Заключение. Повышение содержания селена, цинка, меди, магния в рационах питания в комбинации с их приемом в виде биологически активных добавок является наилучшей профилактикой аффилированных с их дефицитом обменных расстройств.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: северный регион, медицинские работники, окислительный метаболизма, селен, цинк, медь, магний.

Для цитирования: Гайков М.О. Участие биоэлементов в адаптации медицинских работников к неблагоприятным факторам высоких широт. Микроэлементы в медицине. 2025;26(4):55–62. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-4-55-62.

ВВЕДЕНИЕ

Город Ханты-Мансийск – столица расположенного в Западной Сибири и принадлежащего к северной части Тюменской области и, соответственно, приравненного к территориям Крайнего Севера, важнейшего нефтегазодобывающего региона Российской Федерации – Ханты-Мансийского автономного округа. Климатические и геофизические параметры этого региона характеризуются превалированием низкотемпературного режима, неестественного для людей суточного ритма в теплый и холодный периоды года, повышенной динамикой воздушных потоков, повышенной активностью космической радиации, высоким уровнем влагосодержания в воздухе, существенным разбросом колебаний атмосферного давления, критически низкими показателями ультрафиолетового излуче-

ния и пр. (Корчин и др., 2021; Щербакова, 2019). Многочисленными исследованиями северных территорий доказана манифестация циркумполярного стресса в качестве трансформирования метаболизма и активизации процессов окислительной модификации (Бойко, 2012; Корчина и др., 2022; Шарифов и др., 2025). Трансформирование в системе окислительного метаболизма представляет собой главную составляющую адаптации человека в высоких широтах. Пролонгирующийся по времени окислительный стресс на Севере непрерывно расходует ресурсы антиоксидантной защиты, трансформируясь из защитно-адаптационного механизма в пусковой фактор дизадаптации (Хансулин и др., 2012).

В наиболее уязвимом положении на Севере оказываются медицинские работники в силу

* Адрес для переписки:

Гайков Максим Олегович

E-mail: maxgaykov@gmail.com

наслоения профессионального стресса на экологически обусловленный северный стресс. Как известно, продолжительность жизни у медиков значимо меньше, а болезненность существенно выше, чем у иных специалистов, главной причиной этого является, по мнению ученых, именно профессиональный стресс (Петрухин, 2021; Крючкова и др., 2025). При этом примерно половина всех случаев недееспособности сопряжены со стрессом. Усугубляет ситуацию исключительная сложность и высокая ответственность медицинских профессий, которые требуют от специалистов, наряду с высоким профессиональным уровнем, многосторонней образованности, широкого кругозора, интеллектуальности и воспитанности, что становится еще более ощутимым в связи с перманентно растущими притязаниями к индивидуальным компетенциям врачей и медсестер в сочетании со все возрастающими требованиями к эффективности медицинской помощи (Prendergast et al., 2017; Булгакова и др., 2020; Панков, 2025). Доказано, что адаптация к экстремальным условиям климато-геофизической среды приводит к существенным функциональным перестройкам и в результате к понижению физиологических ресурсов организма, в первую очередь антиоксидантной системы защиты организма (АОС) (Стародед и др., 2020). Ферментативное звено АОС включает в себя ферменты антиоксидантной защиты, в активный центр которых инкорпорированы жизненно необходимые химические элементы: селен (Se), цинк (Zn), медь (Cu) и др. (Yu et al., 2022; Терникова и др., 2023; Патышагулыев, 2025). Помимо этого, антиоксидантные свойства проявляет магний (Mg) (Kostov et al., 2018; Погожева и др., 2022; Higashi, 2022).

Ц е л ь р а б о т ы – изучение содержания селена, цинка, меди и магния в волосах у медицинских работников Севера.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В образцах волос у 100 врачей и медицинских сестер разных отделений Окружной клинической больницы (ОКБ) г. Ханты-Мансийска (27 мужчин и 73 женщины, средний возраст $37,1 \pm 2,5$ года) в Центре биотической медицины (Москва) определяли содержание селена, цинка, меди и магния методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на приборе

NexION 300D (PerkinElmer Inc., Shelton, CT, США) с автоматическим многоканальным дозатором ESI SC-2 DX4 (Elemental Scientific Inc, Omaha, NE, США). Исследование проводили в соответствии с этическими принципами Хельсинской декларации 1965 г., с дальнейшей редакцией Приказа Минздрава РФ № 266 от 2003 г. Вычисляли среднее арифметическое значение с отклонением, медиану, 25-й и 75-й квартили. Все обследуемые медработники письменно согласились с условиями проведения исследования. Статистическую оценку результатов исследования проводили с применением программного комплекса MICROSOFT EXCEL (Microsoft Office 2013) и STATISTICA 10.0. Результаты сравнивали с физиологически оптимальными величинами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Формирование химической структуры тела человека детерминировано его потребностью в биоэлементах, но находится в зависимости от условий среды обитания (Скальный, 2018; Skalnaya et al, 2018; Фролков и др., 2020). «Синдром полярного напряжения» (северный стресс) формируется в результате длительного нахождения человека в высоких широтах, что обусловлено развитием дизадаптационных процессов у людей, предопределенных ранее описанными негативными факторами среды обитания (Хаснулин и др., 2012).

Активные радикалы кислорода, в одном случае, в физиологически адекватных концентрациях, участвуют в ретрансляции адаптивных ответов, а, в другом случае, при избыточном их накоплении преобразуются в разрушительные факторы клеточных структур (Патышагулыев, 2025). Важно отметить, что ключевым звеном формирования дизадаптационных явлений у людей, проживающих в северных широтах, является синдром эмоционально-психического напряжения, так характерный для медицинских работников (Хаснулин и др., 2012). В табл. 1 и 2 представлено содержание изучаемых биоэлементов в волосах медицинского персонала ОКБ г. Ханты-Мансийска. Будучи природным аккумулятором химических элементов, волосы являются лучшим биологическим субстратом, отображающим элементный статус человека (Jursa, 2018; Grabeklis et. al., 2019).

Таблица 1. Концентрация биоэлементов с антиоксидантным действием в волосах у врачей и медсестер Окружной клинической больницы г. Ханты-Мансийска, мкг/г

Биоэлемент	Медицинские работники ОКБ г. Ханты-Мансийска (n=100)			
	M±σ	Me	Q25	Q75
Селен	0,39±0,03	0,35	0,24	0,51
Цинк	183,8±13,2	179,2	151,9	223,4
Медь	14,3±0,6	14,1	12,3	16,5
Магний	68,6±9,7	62,3	48,5	95,4

Таблица 2. Ранжирование медицинских работников северного стационара по степени дефицита селена, цинка, меди и магния в волосах, %

Биоэлемент	Медицинские работники г. Ханты-Мансийска (n=100)		
	Норма	Дефицит 1-2-й степени	Дефицит 3-4-й степени
Селен	52	38	10
Цинк	68	32	–
Медь	71	29	–
Магний	78	22	–

Средние величины концентрации селена, цинка, меди и магния не выходили за рамки физиологически оптимальных значений, но находились ближе к нижнему их пределу. При этом медианные значения исследуемых жизненно необходимых химических элементов оказались даже меньше, чем средние показатели.

Человек получает химические элементы с пищей, водой и воздухом, что неразрывно связывает его с внешней средой. В связи с этим химический баланс может быть нарушен при дефицитном или избыточном поступлении химических элементов в его организм (Скальный и др., 2021).

Исследованиями установлено, что Ханты-Мансийский автономный округ (ХМАО) характеризуется дисбалансом химических элементов в почве, выращиваемых на данной территории растениях и в природной воде (Корчина, 2022), а также низким содержанием селена в природных объектах и произрастающих на данной территории растительных культурах (Голубкина и др., 2005). Селен является сильным антиоксидантом, входя в состав ферментов АОС: глутатионпероксидазу, глутатионтрансферазу, глутатионредуктазу и др. (Skalny et al., 2018; Hu et al., 2019; Yu et al., 2022).

Достаточное обеспечение организма человека селеном гарантирует его защищенность от сердечно-сосудистых, вирусно-инфекционных, онкологических заболеваний, патологий эндокринной системы, благотворно воздействует на

фертильность и умственную активность (Кацурба и др., 2019; Скальный и др., 2021).

В нашем исследовании немногим более половины обследованных медработников ХМАО оказались оптимально обеспечены селеном, неглубокий его дефицит выявлен у 38% испытуемых, а выраженная недостаточность селена характеризовала элементный статус 10% медицинских работников г. Ханты-Мансийска (табл. 2).

Одновременно этот биоэлемент содействует кумуляции в организме цинка – второго по значению биоэлемента, оказывающего антиоксидантное действие (Mertens et al., 2015).

Проявляя исключительную биологическую активность, цинк участвует в большом количестве физиолого-биохимических процессов: обмене макроэлементов и нуклеиновых кислот, в составе инсулина регулирует углеводный обмен, важен для иммунной функции, роста, деления, созревания клеток и др. (Chasapis et al., 2020; Barbara et al., 2021). Совместно с медью, цинк входит в активный центр одного из ключевых антиоксидантных ферментов Zn-Cu супероксиддисмутаза, одновременно активизируя функционирование иных антиоксидантов (Choi et al., 2018). Большая часть обследуемых лиц оптимально обеспечена цинком, но у 32% медицинских работников Севера зарегистрирована умеренная его недостаточность (табл. 2).

Наряду с антиоксидантной функцией, медь активизирует деятельность около тридцати фер-

ментных систем – участников клеточного дыхания, гемокоагуляции, синтеза скелетной ткани, эстрогенов и гормонов щитовидной железы. Вместе с тем медь является составной частью фундаментальных энзимов: тирозиназа, аскорбиназа, цитохромоксидаза. Недостаточная обеспеченность организма медью способна спровоцировать дислипидемии, метаболический синдром, жировую дистрофию печени, оксидативный стресс и аффилированные с ним патологии (Скальная и др., 2015; Nara et al., 2018). Подавляющее большинство медицинских работников северного региона оказались оптимально обеспечены медью, в то время как у 22% был выявлен ее неглубокий дефицит.

Магний по праву считается критически важным для организма человека биоэлементом за его роль в деятельности около трехсот ферментов, охватывающих более 80% обменных процессов, включая функционирование нуклеиновых кислот, производство энергии, водно-электролитный обмен, метаболизм углеводов и липидов, синтез нейропептидов и нейромедиаторов, морфогенез скелетной ткани, окислительно-восстановительный баланс и пр. (DiNicolantonio et al., 2018; Дикке, 2020; Higashi, 2022). Важнейшее предназначение магния – поддержание оптимальной деятельности нервной системы организма человека за счет обеспечения энергетического и пластического равновесия в нервной ткани, оптимизации деятельности нейротрансмиттеров, торможения возбуждения в коре головного мозга, снижения стресса, тревожности и депрессии (Керимов и др., 2016; Reddy, Edwards, 2019).

Установлен факт повышения постсинаптического потенциала, способного индуцировать окислительный стресс и гибель нейронов на фоне недостаточной обеспеченности организма человека магнием (Fiorentini et al., 2021). Параллельно магниевая недостаточность детерминирует чрезвычайную возбудимость нервных клеток, как результат угнетения сдерживающих нейрохимических модуляторов, ухудшает эффективность умственной работы, провоцирует раздражительность, астению, вызывает функциональные нарушения сердечно-сосудистой системы, провоцирует возникновение судорог, ухудшение аппетита, нарушение сна и пр. (Stroebel et al., 2018; Yamanaka et al., 2019). Нехватка магния в человеческом организме способствует кумуляции железа, которое обладает прооксидантным действием, потенцируя разрушительное воздей-

ствие активных форм кислорода на молекулярные структуры, одновременно адекватное содержание магния благоприятствует кумуляции витального для жизнедеятельности организма человека витамина D (Dai et al., 2018; Дикке, 2020). Нелишне подчеркнуть, что дефицит этого биоэлемента в организме активирует разрушение молекулярных структур свободными радикалами кислорода (Майлян и др., 2017). Заслуживает внимания тот факт, что пусть даже незначительная недостаточность магния в организме человека может увеличить риск развития дисфункций и патологий в отдаленном периоде жизненного цикла (DiNicolantonio et al., 2018; Ших и др., 2022). В первую очередь при магниевой недостаточности имеют место изменения в головном мозге. Магний вместе с цинком, медью и селеном поддерживает метаболизм нервных клеток, стабилизируя его клеточный каркас. Установлена тесная взаимосвязь и взаимное усиление недостаточности магния, эмоционального напряжения и стресса (Клименко и др., 2023).

Возрастание сложностей эмоционального уровня в настоящее время имеет общую тенденцию, распространяясь на все возрастные категории, но наиболее часто встречаются среди лиц трудоспособного возраста с наиболее острым проявлением на Севере (Корчина и др., 2020; Корчин и др., 2021; Шарифов и др., 2025). Более того, непосредственно медицинские профессии представляют опасность для эмоционально-психического состояния человека в силу тесной связи с дополнительными эмоциональными, физическими и интеллектуальными нагрузками, усиливающимися ответственностью за общее состояние здоровья больных (Grover et al., 2018; Бектасова и др., 2019). Важно отметить, что продолжительная, происходящая из дня в день повышенная эмоциональная нагрузка становится фактором риска формирования патологий, в первую очередь, сердечно-сосудистых, неврологических, иммунных, эндокринных, желудочно-кишечных и других (Hemmer et al., 2021; Водопьянова и др., 2025), что усугубляется у врачей и медсестер северных регионов пониженными возможностями антиоксидантной системы защиты организма из-за северного экологически обусловленного стресса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненное исследование установило часто встречающийся дефицит жизненно необхо-

димых химических элементов с антиоксидантной активностью у медиков северного региона, что может явиться причиной снижения адаптационных возможностей организма в совокупности с усилением эмоционального напряжения у этой группы лиц трудоспособного возраста. Доказано, что недостаточная обеспеченность биоэлементами, в первую очередь селеном, цинком, медью и магнием, может спровоцировать развитие тесно связанных с окислительным стрессом за-

болеваний, прежде всего наиболее распространенных на Севере патологий сердечно-сосудистой системы. Поэтому увеличение содержания вышеуказанных биоэлементов в пищевых рационах в сочетании с регулярным приемом селена, цинка, меди и магния в виде хелатных монопрепаратов и витаминно-минеральных комплексов представляет собой оптимальную немедикаментозную профилактику аффилированных с их дефицитом обменных расстройств.

ЛИТЕРАТУРА

- Бектасова М.В., Кику П.Ф., Шепарев А.А. Факторы риска в процессе трудовой деятельности медицинских работников. Дальневосточный медицинский журнал. 2019; 2: 73–78. DOI: 10.35177/1994-5191-2019-2-73-78.
- Бойко Е.Р. (ред.). Адаптация человека к экологическим и социальным условиям Севера. Сыктывкар: УРО РАН, 2012: 443.
- Булгакова О.С., Пархомчук Д.С., Улянов Т.А. Синдром эмоционального выгорания у медиков как признак профессии (обзорная статья). Вестник психофизиологии. 2020; 1: 9–20.
- Водопьянова Н.Е., Старченкова С. Синдром выгорания. Диагностика и профилактика. Москва: Изд-во Юрайт, 2025: 299.
- Голубкина Н.А., Корчина Т.Я., Меркулова Н.Н., Песие С.А. Селеновый статус Ханты-Мансийского автономного округа. Микроэлементы в медицине. 2005; 6(1): 2–7.
- Дикке Г.Б. Элементарная метабомика и доступные инструменты скрининга, диагностики и лечения гипомagneмии в период беременности. Медицинский совет. 2020; 3: 10–16. DOI: 10.21518/2079-701X-2020-3-10-16.
- Кацурба Т.В., Франтенко В.К., Голубкина Н.А., Тармаева И.Ю. Обогащение селеном хлебобулочных изделий селено-содержащей солодовой мукой. Микроэлементы в медицине. 2019; 20(2): 47–54. DOI: 10.19112/2413-6174-2019-20-2-47-54.
- Керимов А.А., Алиева Н.Р. Вопросы диагностики и значения уровня магния в организме человека. Биомедицина. 2016; 4: 8–12.
- Клименко Л.Л., Скальный А.В., Мазилина А.Н. Роль микроэлементов в этиопатогенезе ишемического инсульта: литературный обзор. Микроэлементы в медицине. 2023; 24(3): 31–40. DOI: 10.19112/2413-6174-2023-24-3-31-40.
- Корчин В.И., Корчина Т.Я., Бикбулатова Л.Н., Терникова Е.М., Лапенко В.В. Влияние климатогеографических факторов Ямало-Ненецкого автономного округа на здоровье населения Журнал медико-биологических исследований. 2021; 1: 77–88. DOI: 10.37482/2687-1491-Z046.
- Корчин В.И., Бикбулатова Л.Н., Корчина Т.Я., Угорелова Е.А. Состояние окислительного метаболизма у коренного и пришлого населения Ямало-Ненецкого автономного округа. Международный научно-исследовательский журнал. 2021; 7(109): 106–109. DOI: 10.23670/IRJ.2021.109.7.054
- Корчина Т.Я., Корчин В.И. Прогностическая роль показателей окислительного метаболизма и элементного статуса у профессиональных водителей автотранспорта Северного региона. Медицина труда и промышленная экология. 2020; 60(4): 238–243. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-4-238-243.
- Корчина Т.Я., Корчин В.И. Взаимосвязи между элементным статусом и показателями окислительного метаболизма у жителей Ханты-Мансийского автономного округа с некачественной водоподготовкой. Здоровье населения и среда обитания. 2022; 30(4): 14–21. DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-4-14-21.
- Крючкова Н. Ю., Новикова И.И. Характеристика условий труда и заболеваемость средних медицинских работников на примере г. Омска. Журнал медико-биологических исследований. 2025; 13(2): 205–212. DOI: 10.37482/2687-1491-Z242.
- Майлян Д.Э., Коломий В.В. Роль дефицита магния в патогенезе сердечно-сосудистых заболеваний: современное состояние проблемы. Российский кардиологический журнал. 2017; 6(146): 167–172. DOI: 10.15829/1560-4071-2017-6-167-172.
- Панков В.А., Кулешова М.В. Эмоциональное выгорание медицинских работников и проявления акцентуации черт характера. Гигиена и санитария. 2025; 104(7): 895–900. DOI: 10.47470/0016-9900-2025-104-7-895-900.
- Патышагульев А. Роль окислительного стресса в нарушении клеточных функций и развитии заболеваний. International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2025; 1-3(100): 70–72. DOI: 10.24412/2500-1000-2025-1-3-70-72.
- Петрухин Н.Н. Профессиональная заболеваемость медработников в России и за рубежом (обзор литературы). Гигиена и санитария. 2021; 100(8): 845–850. DOI: 10.33396/1728-0869-2021-24-32-100-8-845-850.
- Погожева А.В., Коденцова В.М., Шарафетдинов Х.Х. Роль магния и калия в профилактическом и лечебном питании. Вопросы питания. 2022; 91(5): 29–42. DOI: 10.33029/0042-8833-2022-91-5-29-42.
- Скальный А.В., Скальная М.Г., Киричук А.А., Тиньков А.А. Медицинская элементология. М.: РУДН, 2021: 199.
- Скальная М.Г., Скальный А.В. Микроэлементы: биологическая роль для медицинской практики. Сообщение 1. Медь. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2015; 1: 15–31.
- Стародед А.С., Майдан В.А., Цветков С.В. Влияние медико-географических особенностей Крайнего Севера на процессы адаптации. Известия Российской Военно-медицинской академии. 2020; 39(3): 160–163.
- Терникова Е.М., Корчин В.И., Корчина Т.Я. Сопряженность показателей окислительного метаболизма и микронутриентов с антиоксидантным спектром действия у пожилых жителей Ханты-Мансийского автономного округа. Медицинская наука и образование Урала. 2023; 4: 101–105. DOI: 10.36361/18148999-2022-23-4-101.
- Фролков В.С., Нагорнев С.Н., Бобровницкий И.П., Жернов В.А., Зубаркина М.М. Патологические механизмы неблагоприятного влияния климатогеографических факторов Арктики на здоровье человека и технологии восстановительной медицины. Физиотерапевт. 2020; 1: 57. 63.

- Хаснулин В.И., Хаснулин П.В. Современные представления о механизмах формирования северного стресса у человека в высоких широтах. *Экология человека*. 2012; 1: 3–11
- Шарифов М.И., Киричук А.А., Корчина Т.Я. Влияние северо-специфических факторов на параметры окислительного метаболизма у трудоспособного населения Ханты-Мансийского автономного округа. *Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine*. 2025; 4(1): 72-78.
- Ших Е.В., Махова А., Ших А.А., Никитин Е.Ю. Социальный джетлаг: возможности микронутриентной поддержки. *Вопросы питания*. 2022; 91(3): 85–95. DOI: 10.33029/0042-8833-2022-91-3-85-95.
- Щербак А.С. Фактор климата в жизнедеятельности северян: объективные данные и субъективные оценки. *Экология человека*. 2019; 7: 24–32. DOI: 10.33396/1728-0869-2019-7-24-32.
- Barbara M., Mindikoglu A.L. The role of zinc in the prevention and treatment of nonalcoholic fatty liver disease. *Metabol Open*. 2021; 11: 100105. DOI: 10.1016/j.metop.2021.100105.
- Chasapis C.T., Ntouna P.S., Spiliopoulou C.A., Stefanidou M.E. Recent aspects of the effects of zinc on human health. *Archives of Toxicology*. 2020; 94(5): 1443–1460. DOI: 10.1007/s00204-020-02702-9.
- Choi S., Liu X., Pan Z. Zinc deficiency and cellular oxidative stress: prognostic implications in cardiovascular diseases. *Acta Pharmacol*. 2018; 39(7): 1120–1132. DOI: 10.1038/aps.2018.25.
- Dai Q., Zhu X., Manson J.E., Song Y., Li X., Franke A.A. Magnesium status and supplementation influence vitamin D status and metabolism: results from a randomized trial. *Am. J. Clin. Nutr*. 2018; 108(6): 1249–1258. DOI: 10.1093/ajcn/nqy274.
- DiNicolantonio J.J., O’Keefe J.H., Wilson W. Subclinical magnesium deficiency: a principal driver of cardiovascular disease and a public health crisis. *Open Heart*. 2018; 5: e000668. DOI: 10.1136/openhrt-2017-000668.
- Fiorentini D., Cappadone C., Farruggia G., Prata C. Magnesium: biochemistry, nutrition, detection, and social impact of diseases linked to its deficiency. *Nutrients*. 2021; 13(4): 1136. DOI: 10.3390/nu13041136.
- Grabeklis A.R., Skalny A.V., Mazaletskaya A.L., Skalnaya M.G., Tinkov A.A., Zhegalova I.V., Skalnaya A.A., Notova S.V. Hair mineral and trace element content in children with down’s syndrome. *Biological Trace Element Research*. 2019; 188(1): 230–238. DOI: 10.1007/s12011-018-1506-8.
- Grover S., Sahoo S., Bhalla A., Avasthi A. Psychological problems and burnout among medical professionals of a tertiary care hospital of North India: A cross-sectional study. *Indian J. Psychiatry*. 2018; 60(2): 175–88. DOI: 10.4103/psychiatry.IndianJPsychiatry-254-17.
- Hemmer A., Mareschal J., Dibner C., Pralong J.A., Dorribo V., Perrig S., Denton L., Pichard C., Collet T. The effects of shift work on cardio-metabolic diseases and eating patterns. *Nutrients*. 2021; 13(11): 4178. DOI: 10.3390/nu13114178.
- Hara T., Tatsuishi H., Banno T. Copper (II) Bis(diethylthiocarbamate) Induces the Expression of Syndecan-4, a Transmembrane Heparan Sulfate Proteoglycan, via p38 MAPK Activation in Vascular Endothelial Cells. *Int J Mol Sci*. 2018; 24(19): E3302. DOI: 10.3390/ijms19113302.
- Higashi Y.A. Good time to reconsider the associations of calcium and magnesium with hypertension. *Circ J*. 2022; 86 (9): 1474–1475. DOI: 10.1253/circj.CJ-22-0305.
- Hu X.F., Stranges S., Chan L.H.M. Circulating selenium concentration is inversely associated with the prevalence of stroke: results from the Canadian health measures survey and the national health and nutrition examination survey. *J. Am. Heart Assoc*. 2019; 8(10): e012290. DOI: 10.1161/JAHA.119.012290.
- Jursa T., Stein C.R., Smith D.R. Determinants of Hair Manganese, Lead, Cadmium and Arsenic Levels in Environmentally Exposed Children. *Toxics*. 2018; 6: 19. DOI: 10.3390/toxics6020019.
- Kostov K., Halacheva L. Role of Magnesium Deficiency in Promoting Atherosclerosis, Endothelial Dysfunction, and Arterial Stiffening as Risk Factors for Hypertension. *Int. J. Mol. Sci*. 2018; 19(6): 1724. DOI: 10.3390/ijms19061724.
- Mertens K., Lowes D.A., Webster N.R., Talib J., Hall L., Davies L.J., Beattie J.H., Galley N.F. Low zinc and selenium concentration in sepsis are associated with oxidative damage and inflammation. *Br J Anaesth*. 2015; 114(6): 990–999. DOI: 10.1093/bja/aev073.
- Prendergast C., Ketteler E., Evans G. Burnout in the Plastic Surgeon: Implications and Interventions. *Aesthet Surg J*. 2017; 37(3): 363–368. DOI: 10.1093/asj/sjw158.
- Reddy P., Edwards L.R. Magnesium supplementation in vitamin D deficiency. *Am J Ther*. 2019; 26(1): 124–132. DOI: 10.1097/MJT.0000000000000538.
- Skalnaya M.G., Skalny A.V. Essential trace elements in human health: a physician’s view. Publishing House of Tomsk State University. Tomsk, 2018. 224 p.
- Skalny A.V., Skalnaya M.G., Klimenko L.L., Mazilina A.N., Tinkov A.A. Selenium in Ischemic Stroke. Selenium. Chapter. Editors: Michalke, Bernhard (Ed.). 2018: 793.
- Stroebel D., Casado M., Paoletti P. Triheteromeric NMDA receptors: from structure to synaptic physiology. *Curr. Opin. Physiol*. 2018; 2: 1–12. DOI: 10.1016/j.cophys.2017.12.004.
- Yamanaka R., Shindo Y., Okak K. Magnesium is a key player in neuronal maturation and neuropathology. *Int. J. Mol. Sci*. 2019; 20(14): 3439. DOI: 10.3390/ijms20143439.
- Yu R., Wang Z., Ma M., Xu P., Liu L., Tinkov A. et al. Associations between Circulating SELENOP Level and Disorders of Glucose and Lipid Metabolism: A Meta-Analysis. *Antioxidants (Basel)*. 2022; 11(7): 1263. DOI: 10.3390/antiox11071263.

Информация об авторе:

Максим Олегович Гайков – аспирант, кафедра медицинской и биологической химии

E-mail: maxgaykov@gmail.com;

<http://orcid.org/0009-0000-4563-286X>; SPIN: 4743-1274

ON THE INVOLVEMENT OF BIOELEMENTS IN THE ADAPTATION OF HEALTHCARE WORKERS TO THE ADVERSE FACTORS OF HIGH LATITUDE

M.O. Gaikov

Khanty-Mansiysk State Medical Academy,
40 Mira str., Khanty-Mansiysk, 628011, Russian Federation

ABSTRACT. The oxidative metabolism system, consisting of pro- and antioxidant components, is crucial for human adaptation. In the North, a shift in the redox balance toward oxidizing agents is observed due to the addition of environmental northern stress. Lipid peroxidation is countered by the body's antioxidant defense system, which includes the bioelements selenium, zinc, copper, and magnesium. Among all workers, healthcare workers are subject to the greatest pressure of occupational stress. **Objective.** To study the selenium, zinc, copper, and magnesium levels in the hair of northern healthcare workers. **Materials and Methods.** A total of 100 physicians and nurses from the Khanty-Mansiysk District Clinical Hospital were examined: 27 men and 73 women (37,1 ± 2,5 years). Hair concentrations of Se, Zn, Cu, and Mg were determined using ICP-MS. **Results.** Average hair Se, Zn, Cu, and Mg concentrations were at the lower limits of normal. Se deficiency of varying degrees was detected in 48% of healthcare workers in the North, while mild Zn, Cu, and Mg deficiencies were found in 32%, 29%, and 22% of healthcare workers in the North, respectively. Increasing dietary Se, Zn, Cu, and Mg intake, combined with supplementation, is the best prevention of deficiency-related metabolic disorders. **Conclusion.** Increasing the content of selenium, zinc, copper, and magnesium in diets in combination with their intake in the form of dietary supplements is the best prevention of metabolic disorders associated with their deficiency.

KEYWORDS: Northern region, healthcare workers, oxidative metabolism, selenium, zinc, copper, magnesium.

For citation: Gaikov M.O. On the involvement of bioelements in the adaptation of healthcare workers to the adverse factors of high latitude. *Trace elements in medicine.* 2025;26(4):55–62. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-4-55-62

REFERENCES

- Bektasova M.V., Kiku P.F., Sheparev A.A. Risk factors in the process of work activity of medical workers. *Far Eastern Medical Journal.* 2019; 2: 73–78. DOI: 10.35177/1994-5191-2019-2-73-78. (In Russian).
- Boyko E.R. (ed.) Human adaptation to environmental and social conditions of the North. Syktyvkar: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2012: 443. (In Russian).
- Bulgakova O.S., Parkhomchuk D.S., Ulyanov T.A. Emotional burnout syndrome in medical workers as a characteristic of their profession (review article). *Bulletin of Psychophysiology.* 2020; 1: 9–20. (In Russian).
- Vodopyanova N.E., Starchenkova S. Burnout syndrome. *Diagnostics and prevention.* Moscow: Yurait Publishing House, 2025: 299. (In Russian).
- Golubkina N.A., Korchina T.Ya., Merkulova N.N., Pesie S.A. Selenium status of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug. *Microelements in medicine.* 2005; 6(1): 2–7. (In Russian).
- Dikke G.B. Elementary metabolomics and available tools for screening, diagnosis, and treatment of hypomagnesemia during pregnancy. *Med. Advice.* 2020; 3: 10–16. DOI: 10.21518/2079-701X-2020-3-10-16. (In Russian).
- Katsurba T.V., Frantenko V.K., Golubkina N.A., Tarmaeva I.Yu. Selenium enrichment of bakery products with selenium-containing malt flour. *Microelements in Medicine.* 2019; 20(2): 47–54. DOI: 10.19112/2413-6174-2019-20-2-47-54. (In Russian).
- Kerimov A.A., Alieva N.R. Diagnostic issues and the significance of magnesium levels in the human body. *Biomedicine.* 2016; 4: 8–12. (In Russian).
- Klimenko L.L., Skalny A.V., Mazilina A.N. The role of trace elements in the etiopathogenesis of ischemic stroke: a literature review. *Trace Elements in Medicine.* 2023; 24(3): 31–40. DOI: 10.19112/2413-6174-2023-24-3-31-40. (In Russian).
- Korchin V.I., Korchina T.Ya., Bikbulatova L.N., Ternikova E.M., Lapenko V.V. The influence of climatic and geographic factors of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug on population health. *Journal of Medical and Biological Research.* 2021; 1: 77–88. DOI: 10.37482/2687-1491-Z046. (In Russian).
- Korchin V.I., Bikbulatova L.N., Korchina T.Ya., Ugorelova E.A. Oxidative metabolism status in the indigenous and immigrant population of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. *International Research Journal.* 2021; 7(109): 106–109. DOI: 10.23670/IRJ.2021.109.7.054. (In Russian).
- Korchina T. Ya., Korchin V. I. Prognostic role of oxidative metabolism indicators and elemental status in professional drivers of motor vehicles in the Northern region. *Occupational Medicine and Industrial Ecology.* 2020; 60(4): 238–243. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-4-238-243.
- Korchina T.Ya., Korchin V.I. Relationships between elemental status and oxidative metabolism indicators in residents of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug with poor water treatment. *Population Health and Environment.* 2022; 30(4): 14–21. DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-4-14-21. (In Russian).
- Kryuchkova N.Yu., Novikova I.I. Characteristics of working conditions and morbidity of mid-level medical workers: the example of Omsk. *Journal of Medical and Biological Research.* 2025; 13(2): 205–212. DOI: 10.37482/2687-1491-Z242. (In Russian).
- Maylyan D.E., Kolomiyev V.V. The role of magnesium deficiency in the pathogenesis of cardiovascular diseases: the current state of the problem. *Russian Journal of Cardiology.* 2017; 6(146): 167–172. DOI: 10.15829/1560-4071-2017-6-167-172. (In Russian).
- Pankov V.A., Kuleshova M.V. Emotional burnout of medical workers and manifestations of accentuation of character traits. *Hygiene and Sanitation.* 2025; 104(7): 895–900. DOI: 10.47470/0016-9900-2025-104-7-895-900. (In Russian).
- Patyshagulyev A. The role of oxidative stress in the disruption of cellular functions and the development of diseases. *International Journal of Humanities and Natural Sciences.* 2025; 1-3(100): 70–72. DOI: 10.24412/2500-1000-2025-1-3-70-72. (In Russian).
- Petrukhin N.N. Occupational morbidity of healthcare workers in Russia and abroad (literature review). *Hygiene and Sanitation.* 2021; 100(8): 845–850. DOI: 10.33396/1728-0869-2021-24-32-100-8-845-850. (In Russian).
- Pogozheva A.V., Kodentsova V.M., Sharafetdinov H.Kh. The Role of Magnesium and Potassium in Preventive and Therapeutic Nutrition. *Nutrition Issues.* 2022; 91(5): 29–42. DOI: 10.33029/0042-8833-2022-91-5-29-42. (In Russian).

- Skalny A.V., Skalnaya M.G., Kirichuk A.A., Tinkov A.A. Medical Elementology. Moscow: RUDN University, 2021: 199. (In Russian).
- Skalnaya M.G., Skalny A.V. Microelements: biological role for medical practice. Message 1. Copper. Issues of biological, medical and pharmaceutical chemistry. 2015; 1: 15–31. (In Russian).
- Staroded A.S., Maidan V.A., Tsvetkov S.V. The influence of medical and geographical features of the Far North on adaptation processes. Bulletin of the Russian Military Medical Academy. 2020; 39(3): 160–163. (In Russian).
- Ternikova E.M., Korchin V.I., Korchina T.Ya. Correlation of oxidative metabolism indicators and micronutrients with the antioxidant spectrum of action in elderly residents of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug. Medical Science and Education of the Urals. 2023; 4: 101–105. DOI: 10.36361/18148999-2022-23-4-101. (In Russian).
- Frolkov V.S., Nagornev S.N., Bobrovniksky I.P., Zhernov V.A., Zubarkina M.M. Pathophysiological mechanisms of the adverse impact of climatic and geographic factors of the Arctic on human health and technologies of restorative medicine. Physiotherapist. 2020; 1: 57. 63. (In Russian).
- Khasnulin V.I., Khasnulin P.V. Modern concepts of the mechanisms of formation of northern stress in humans at high latitudes. Human ecology. 2012; 1: 3–11. (In Russian).
- Sharifov M.I., Kirichuk A.A., Korchina T.Ya. The influence of northern-specific factors on the parameters of oxidative metabolism in the working-age population of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug. Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine. 2025; 4(1): 72–78. (In Russian).
- Shikh E.V., Makhova A., Shikh A.A., Nikitin E.Yu. Social jet lag: possibilities of micronutrient support. Nutrition Issues. 2022; 9 (3): 85–95. DOI: 10.33029/0042-8833-2022-91-3-85-95. (In Russian).
- Sheherbakova A.S. The climate factor in the life of northerners: objective data and subjective assessments. Human Ecology. 2019; 7: 24–32. DOI: 10.33396/1728-0869-2019-7-24-32. (In Russian).
- Barbara M., Mindikoglu A.L. The role of zinc in the prevention and treatment of nonalcoholic fatty liver disease. Metabol Open. 2021; 11: 100105. DOI: 10.1016/j.metop.2021.100105.
- Chasapis C.T., Ntoupa P.S., Spiliopoulou C.A., Stefanidou M.E. Recent aspects of the effects of zinc on human health. Archives of Toxicology. 2020; 94(5): 1443–1460. DOI: 10.1007/s00204-020-02702-9.
- Choi S., Liu X., Pan Z. Zinc deficiency and cellular oxidative stress: prognostic implications in cardiovascular diseases. Acta Pharmacol. 2018; 39(7): 1120–1132. DOI: 10.1038/aps.2018.25.
- Dai Q., Zhu X., Manson J.E., Song Y., Li X., Franke A.A. Magnesium status and supplementation influence vitamin D status and metabolism: results from a randomized trial. Am. J. Clin. Nutr. 2018; 108(6): 1249–1258. DOI: 10.1093/ajcn/nqy274.
- DiNicolantonio J.J., O’Keefe J.H., Wilson W. Subclinical magnesium deficiency: a principal driver of cardiovascular disease and a public health crisis. Open Heart. 2018; 5: e000668. DOI: 10.1136/openhrt-2017-000668.
- Fiorentini D., Cappadone C., Farruggia G., Prata C. Magnesium: biochemistry, nutrition, detection, and social impact of diseases linked to its deficiency. Nutrients. 2021; 13(4): 1136. DOI: 10.3390/nu13041136.
- Grabeklis A.R., Skalny A.V., Mazaletskaia A.L., Skalnaya M.G., Tinkov A.A., Zhegalova I.V., Skalnaya A.A., Notova S.V. Hair mineral and trace element content in children with down's syndrome. Biological Trace Element Research. 2019; 188(1): 230–238. DOI: 10.1007/s12011-018-1506-8.
- Grover S., Sahoo S., Bhalla A., Avasthi A. Psychological problems and burnout among medical professionals of a tertiary care hospital of North India: A cross-sectional study. Indian J. Psychiatry. 2018; 60(2): 175–88. DOI: 10.4103/psychiatry.IndianJPsychiatry-254-17.
- Hemmer A., Mareschal J., Dibner C., Pralong J.A., Dorribo V., Perrig S., Denton L., Pichard C., Collet T. The effects of shift work on cardio-metabolic diseases and eating patterns. Nutrients. 2021; 13(11): 4178. DOI: 10.3390/nu13114178.
- Hara T., Tatsuiishi H., Banno T. Copper (II) Bis(diethylthiocarbamate) Induces the Expression of Syndecan-4, a Transmembrane Heparan Sulfate Proteoglycan, via p38 MAPK Activation in Vascular Endothelial Cells. Int J Mol Sci. 2018; 24(19): E3302. DOI: 10.3390/ijms19113302.
- Higashi Y.A. Good time to reconsider the associations of calcium and magnesium with hypertension. Circ J. 2022; 86 (9): 1474–1475. DOI: 10.1253/circj.CJ-22-0305.
- Hu X.F., Stranges S., Chan L.H.M. Circulating selenium concentration is inversely associated with the prevalence of stroke: results from the Canadian health measures survey and the national health and nutrition examination survey. J. Am. Heart Assoc. 2019; 8(10): e012290. DOI: 10.1161/JAHA.119.012290.
- Jursa T., Stein C.R., Smith D.R. Determinants of Hair Manganese, Lead, Cadmium and Arsenic Levels in Environmentally Exposed Children. Toxics. 2018; 6:19. DOI: 10.3390/toxics6020019.
- Kostov K., Halacheva L. Role of Magnesium Deficiency in Promoting Atherosclerosis, Endothelial Dysfunction, and Arterial Stiffening as Risk Factors for Hypertension. Int. J. Mol. Sci. 2018; 19(6): 1724. DOI: 10.3390/ijms19061724.
- Mertens K., Lowes D.A., Webster N.R., Talib J., Hall L., Davies L.J., Beattie J.H., Galley N.F. Low zinc and selenium concentration in sepsis are associated with oxidative damage and inflammation. Br J Anaesth. 2015; 114(6): 990–999. DOI: 10.1093/bja/aev073.
- Prendergast C., Ketteler E., Evans G. Burnout in the Plastic Surgeon: Implications and Interventions. Aesthet Surg J. 2017; 37(3): 363–368. DOI: 10.1093/asj/sjw158.
- Reddy P., Edwards L.R. Magnesium supplementation in vitamin D deficiency. Am J Ther. 2019; 26(1): 124–132. DOI: 10.1097/MJT.0000000000000538.
- Skalnaya M.G., Skalny A.V. Essential trace elements in human health: a physician’s view. Publishing House of Tomsk State University. Tomsk, 2018. 224 p.
- Skalny A.V., Skalnaya M.G., Klimenko L.L., Mazilina A.N., Tinkov A.A. Selenium in Ischemic Stroke. Selenium. Chapter. Editors: Michalke, Bernhard (Ed.). 2018: 793.
- Stroebel D., Casado M., Paoletti P. Triheteromeric NMDA receptors: from structure to synaptic physiology. Curr. Opin. Physiol. 2018; 2: 1–12. DOI: 10.1016/j.cophys.2017.12.004.
- Yamanaka R., Shindo Y., Okak K. Magnesium is a key player in neuronal maturation and neuropathology. Int. J. Mol. Sci. 2019; 20(14): 3439. DOI: 10.3390/ijms20143439.
- Yu R., Wang Z., Ma M., Xu P., Liu L., Tinkov A. et al. Associations between Circulating SELENOP Level and Disorders of Glucose and Lipid Metabolism: A Meta-Analysis. Antioxidants (Basel). 2022; 11(7): 1263. DOI: 10.3390/antiox11071263.

Information about the author:

Maxim O. Gaikov – Post-graduate Student, Department of Medical and Biological Chemistry

E-mail: maxgaykov@gmail.com; <http://orcid.org/0009-0000-4563-286X>; SPIN: 4743-1274

Поступила 21 октября 2025 года

Принята к публикации 2 декабря 2025 года

<i>Евсеева Г.П., Супрун С.В., Телепнева Р.С., Супрун Е.Н., Полтавченко А.Е., Книжникова Е.В., Козлов В.К., Лебедько О.А.</i> ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ ПАЦИЕНТОВ С БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМОЙ И ОЖИРЕНИЕМ	47
<i>Evseeva G.P., Suprun S.V., Telepneva R.S., Suprun E.N., Poltavchenko A.E., Knizhnikova E.V., Kozlov V.K., Lebedko O.A.</i> ASSESSMENT OF THE CONTENT OF MICROELEMENTS IN THE SERUM OF PATIENTS WITH BRONCHIAL ASTHMA AND OBESITY	52
<i>Гайков М.О.</i> УЧАСТИЕ БИОЭЛЕМЕНТОВ В АДАПТАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ ФАКТОРАМ ВЫСОКИХ ШИРОТ	55
<i>Gaikov M.O.</i> ON THE INVOLVEMENT OF BIOELEMENTS IN THE ADAPTATION OF HEALTHCARE WORKERS TO THE ADVERSE FACTORS OF HIGH LATITUDE.....	61