



Маклакова О.А., Устинова О.Ю., Валина С.Л.

## Некоторые аспекты развития костно-мышечной патологии у детей, проживающих в промышленном центре с градообразующим предприятием по производству сплавов цветных металлов

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»  
Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 614045, Пермь, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** В настоящее время сохраняется рост болезней костно-мышечной системы в детском возрасте, особенно на территориях техногенного загрязнения среды обитания.

**Цель исследования** — выявить маркёры развития костно-мышечной патологии в детском возрасте для минимизации риска нарушений здоровья в условиях воздействия выбросов предприятия по производству сплавов цветных металлов.

**Материалы и методы.** Обследованы 495 детей в возрасте 5–7 лет (54,3% мальчиков, 45,7% девочек), проживающих в промышленном центре, где в атмосферном воздухе регистрировалось превышение содержания алюминия до 3,06 ПДК<sub>с.с.</sub>, фтористых газообразных соединений до 8,25 ПДК<sub>с.с.</sub>, и 95 человек (57,9% мальчиков и 42,1% девочек), проживающих на территории с содержанием исследуемых соединений в атмосферном воздухе на уровне 0,03–0,54 ПДК<sub>с.с.</sub>. Дети осмотрены врачом-педиатром. Определено содержание алюминия и фторид-ионов в моче. Исследованы показатели фосфорно-кальциевого обмена, синтеза и резорбции костной ткани. Выполнена ультразвуковая денситометрия.

**Результаты.** У детей группы наблюдения в моче регистрировался повышенный уровень алюминия и фтор-иона до 3,2 раза. Выявлено, что риск развития патологии костно-мышечной системы, в том числе деформирующей дорсопатии, у детей группы наблюдения выше до 1,3 раза. У экспонированных детей нарушение костного метаболизма проявляется повышенным содержанием ионизированного кальция в крови, у каждого четвёртого — уровня N-остеокальцина, в 59,3% случаев — активацией тартрат-резистентной кислой фосфатазы. У детей, проживающих в промышленном центре, вероятность активации резорбции костной ткани выше в 9,2 раза. Нарушение процессов ремоделирования костной ткани сопровождается у 54,7% экспонированных детей снижением минеральной плотности кости.

**Ограничения исследования.** Исследование проведено у детей в возрасте 5–7 лет.

**Заключение.** Маркёры нарушения костного метаболизма ткани могут быть использованы для реализации санитарно-эпидемиологических и медико-профилактических мероприятий для снижения риска развития остеопенических состояний в детском возрасте.

**Ключевые слова:** дети; патология костно-мышечной системы; алюминий; фторид-ион

**Соблюдение этических стандартов.** Клиническое обследование выполнено в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (в редакции 2013 г.) и Национальным стандартом РФ ГОСТ Р 52379–2005 «Надлежащая клиническая практика» (ICH E6 GCP), одобрено Этическим комитетом ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН» (протокол № 2, 2017 г.). Законные представители подписали добровольное информированное согласие на обследование детей.

**Для цитирования:** Маклакова О.А., Устинова О.Ю., Валина С.Л. Некоторые аспекты развития костно-мышечной патологии у детей, проживающих в промышленном центре с градообразующим предприятием по производству сплавов цветных металлов. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(11): 1350–1355. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-11-1350-1355> <https://elibrary.ru/ftcwsy>

**Для корреспонденции:** Маклакова Ольга Анатольевна, e-mail: [olga\\_mcl@fcrisk.ru](mailto:olga_mcl@fcrisk.ru)

**Участие авторов:** Маклакова О.А. — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных; Устинова О.Ю. — концепция и дизайн исследования, редактирование текста; Валина С.Л. — сбор материала и обработка данных, редактирование текста. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 12.08.2024 / Поступила после доработки: 13.09.2024 / Принята к печати: 19.11.2024 / Опубликовано: 17.12.2024

Olga A. Maklakova, Olga Yu. Ustinova, Svetlana L. Valina

## Some aspects of the development of musculoskeletal pathology in children in an industrial center with a city-forming enterprise for the production of non-ferrous metal alloys

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** At present, incidence of musculoskeletal diseases is growing in children, especially in areas with poor quality of the environment

**The purpose of the study** was to identify markers of the development of musculoskeletal pathology in children to minimize the risk of health under conditions of exposure to emissions from a non-ferrous metal alloy production plant.

**Materials and methods.** We performed clinical examination in four hundred ninety five 5 and 7 years children (54.3% boys and 45.7% girls). They lived in a large industrial center where safe standards for chemical in ambient air were violated per aluminum (up to 3.06 average daily MPL) and gaseous fluorides (up to 8.25 average daily MPL). Also, we examined 95 children (57.9% boys and 42.1% girls) who lived in an area where the foregoing chemicals were detected in ambient air in levels not exceeding 0.3–0.54 average daily MPL. The children were examined by pediatrician. Levels of aluminum and fluoride-ion were determined in urine. We examined phosphor-calcium metabolism indices and markers of bone tissue synthesis and resorption. The study also involved performing ultrasound densitometry.

**Results.** The children from the observation group had aluminum and fluoride-ion levels in their urine up to 3.2 times higher than their peers from the reference group. Likelihood of musculoskeletal pathology, including deforming dorsopathy, was found to be up to 1.3 times higher for the exposed children. Bone metabolism failure manifested itself in the exposed children through elevated levels of ionized calcium in blood; elevated levels of N-osteocalcin in 25.4% of the exposed children and elevated activity of tartrate-resistant acid phosphatase in 59.3%. Bone marrow resorption was by 9.2 times more likely to be activated in the exposed children from a large industrial center. Impaired bone tissue remodelling was accompanied with lower bone mineral density in 54.7% of the exposed children.

**Limitations.** The study was conducted on 5–7 years children.

**Conclusion.** Markers of bone tissue metabolism disorders can be used to implement sanitary-epidemiological and medical-preventive measures to reduce the risk of developing osteopathic conditions in childhood.

**Keywords:** children; pathology of the musculoskeletal system; aluminum; fluoride ion

**Compliance with ethical standards.** The clinical examination was performed in accordance with the ethical principles of the Helsinki Declaration of the World Medical Association (as amended in 2013) and the National Standard of the Russian Federation GOST R 52379-2005 "Good Clinical Practice" (ICH E6 GCP), approved by the Ethics Committee of the Federal State Budgetary Institution "FNC MPT URZN" (Protocol No. 2, 2017). Legal representatives signed a voluntary informed consent to the examination of children.

**For citation:** Maklakova O.A., Ustinova O.Yu., Valina S.L. Some aspects of the development of musculoskeletal pathology in children in an industrial center with a city-forming enterprise for the production of non-ferrous metal alloys. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal.* 2024; 103(11): 1350–1355. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-11-1350-1355> <https://elibrary.ru/ftwswy> (In Russ.)

**For correspondence:** Olga A. Maklakova, e-mail: [olga\\_mcl@fcrisk.ru](mailto:olga_mcl@fcrisk.ru)

**Contribution:** Maklakova O.A. — study concept and design, data collection and analysis, statistical analysis, writing and editing the text; Ustinova O.Yu. — study concept and design, editing the text; Valina S.L. — data collection and analysis, editing the text. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

**Acknowledgement.** The study had no sponsorship.

Received: August 12, 2024 / Revised: September 9, 2024 / Accepted: November 19, 2024 / Published: December 17, 2024

## Введение

В настоящее время болезни костно-мышечной системы представляют серьёзную медико-социальную проблему [1]. Согласно данным ВОЗ, в развитых странах отмечается высокая распространённость нарушений и болезней костно-мышечной системы, которые прогрессируют с возрастом и являются одними из ведущих факторов инвалидизации во всём мире [2]. В последние десятилетия в России при наличии высокой заболеваемости костно-мышечной патологией сохраняется тенденция к её росту, особенно у детей и подростков. Так, уровень заболеваемости по различным нозологическим формам болезней данного класса в Российской Федерации в 2022 г. составил 2569,9 случая на 100 000 детского населения [3–5].

К развитию нарушений костно-мышечной системы могут приводить разнообразные этиологические факторы, среди которых значительную роль имеют факторы среды обитания [6–8]. Отмечено, что дополнительная заболеваемость населения болезнями костно-мышечной системы и соединительной ткани может быть вероятностно связана с загрязнением атмосферного воздуха и (или) питьевой воды и составлять до 180,7 дополнительного случая на 100 000 населения в зависимости от субъекта Российской Федерации<sup>1</sup>.

Современные исследования показывают, что негативное влияние химических соединений способствует развитию костно-мышечной патологии, особенно в детском возрасте, когда отмечается высокий уровень реорганизации кости с преобладанием процессов синтеза костной ткани [9–12]. Известно, что алюминий как антагонист кальция участвует в формировании металлоцитратного комплекса, тем самым способствуя замедлению минерализации костной ткани [13–15]. Негативное воздействие фторид-иона на микроархитектонику кости связано с вытеснением гидроксильной группы из кальциевых гидроксиапатитов, что способствует развитию остеопенического синдрома [16, 17]. Кроме того, несбалансированное питание с низким содержанием белка, кальция, фосфора, особенно на фоне дефицита витамина D, усиливает неблагоприятное токсическое действие химических соединений [12, 18–20].

Неблагоприятное воздействие техногенных химических соединений на рост и развитие костной ткани в детском возрасте изучено недостаточно. Костно-мышечные нарушения, начиная формироваться у детей, впоследствии могут усугубиться в подростковом возрасте и послужить основой развития данной патологии у взрослых, что в целом негативно сказывается на качестве жизни [21, 22].

**Цель исследования** — выявить маркёры развития костно-мышечной патологии в детском возрасте для минимизации риска нарушений здоровья в условиях воздействия выбросов предприятия по производству сплавов цветных металлов.

## Материалы и методы

На территории промышленного города с градообразующим предприятием по производству сплавов цветных металлов в 2017 г. и 2023 г. обследованы 269 мальчиков (54,3%) и 226 девочек (45,7%), средний возраст которых составил  $5,45 \pm 0,04$  года (группа наблюдения), посещающих старшую и подготовительную группы дошкольных образовательных учреждений. Динамические санитарно-гигиенические исследования состава атмосферного воздуха в промышленном центре с предприятием по производству сплавов цветных металлов за последние десять лет (с 2012 г.) показали превышение концентраций алюминия и фтористых газообразных соединений в 3,1–8,2 раза относительно среднесуточных гигиенических нормативов.

Атмосферный воздух на территории сравнения (небольшой город, в котором нет крупных промышленных предприятий) по содержанию исследуемых соединений соответствовал гигиеническим нормативам. Группа сравнения, включающая 55 мальчиков (57,9%) и 40 девочек (42,1%), средний возраст которых составил  $5,56 \pm 0,09$  года, статистически значимо не отличалась от группы наблюдения по половозрастным и социальным показателям ( $p = 0,24–0,52$ ).

Дети с острыми респираторными болезнями, обострением хронической соматической патологии в период обследования и при наличии группы инвалидности были исключены из данного исследования.

Дизайн клинического обследования дошкольников был утверждён этическим комитетом ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН» (протокол № 2, 2017 г.), соответствовал своду этических норм Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (в редакции 2013 г.) и Национального стандарта РФ ГОСТ Р 52379–2005 «Надлежащая клиническая практика» (ICH E6 GCP).

<sup>1</sup> О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024. 364 с.

Лабораторные показатели крови обследованных детей,  $M \pm m$   
Laboratory blood indices in examined children,  $M \pm m$

Показатель Index	Нормативные значения Reference values	Группа наблюдения Observation group	Группа сравнения Reference group	Достоверность различий между группами Reliability of differences between the groups
Кальций, ммоль/дм <sup>3</sup>   Calcium, mmol/dm <sup>3</sup>	2.02–2.6	2.44 ± 0.009	2.41 ± 0.18	0.0035
Ионизированный кальций, ммоль/дм <sup>3</sup> Ionized calcium, mmol/dm <sup>3</sup>	1.03–1.1	1.21 ± 0.006	1.23 ± 0.008	0.019
Фосфор, ммоль/дм <sup>3</sup>   Phosphor, mmol/dm <sup>3</sup>	1.29–2.26	1.65 ± 0.016	1.67 ± 0.029	0.194
Щелочная фосфатаза, Е/дм <sup>3</sup>   Alkaline phosphatase, U/dm <sup>3</sup>	71–645	467.92 ± 13.01	450.97 ± 21.45	0.191
N-остеокальцин, нг/см <sup>3</sup>   N-osteocalcin, ng/cm <sup>3</sup>	2.8–41	67.68 ± 6.64	52.93 ± 5.26	0.014
Тартрат-резистентная кислая фосфатаза, Ед/дм <sup>3</sup> Tartrate-resistant acid phosphatase, U/dm <sup>3</sup>	1.12–3.5	7.35 ± 1.28	2.87 ± 0.20	0.0001

Обязательным условием проведения клинического обследования детей явилось наличие письменного предварительного информированного добровольного согласия законного представителя дошкольника на проведение анкетного опроса, осмотра врачом-педиатром, ультразвуковой денситометрии, лабораторной диагностики, включая исследование мочи на наличие техногенных химических соединений.

Химико-токсикологический анализ для определения содержания алюминия и фторид-иона в моче проведён в соответствии с утверждёнными методическими указаниями<sup>2,3</sup>. Референтные уровни (RfL) алюминия в моче ( $0,0065 \pm 0,0035$  мг/дм<sup>3</sup>), фторид-иона в моче ( $0,2$  мг/дм<sup>3</sup>) являлись критериями оценки результатов проб.

Клинико-лабораторные исследования (общий, клинический, биохимический и иммуноферментный анализы крови) выполнены по традиционным стандартным методикам. Состояние обменных процессов в костной ткани у дошкольников изучали по содержанию кальция, ионизированного кальция, фосфора, активности щелочной фосфатазы (фосфорно-кальцевый обмен), уровню костного глутаминового белка (N-остеокальцин – маркёр синтеза кости) и активности TRACP (тартрат-резистентная кислая фосфатаза – маркёр резорбции кости) [23]. Возрастные физиологические нормативы служили критериями оценки исследуемых показателей у детей. Ультразвуковое исследование структуры кости проводилось на лучевой кости по стандартной методике. Нормативным значением плотности костной ткани (Z-индекс) считался показатель до  $-1$  SD.

Стандартными методами параметрической и непараметрической описательной статистики выполнен математический анализ полученных результатов исследования. Оценивались средние значения показателей, доли, медиана, интерквартильный размах, относительный риск (RR), отношение вероятности наступления исхода (OR) с учётом границы 95%-го доверительного интервала (CI), зависимости показателей методом корреляционного анализа (корреляции Пирсона) и однофакторного дисперсионного анализа, включающего критерий Фишера ( $F$ ), коэффициент детерминации ( $R^2$ ), константы ( $b_0$ ), коэффициент регрессии ( $b_1$ ) и статистическую значимость ( $p$ ) [24]. При заданном  $p \leq 0,05$  различия считали статистически значимыми.

Результаты

Химико-аналитическое исследование биопроб мочи у детей, проживающих в промышленном центре с предприятием цветной металлургии, показало повышение средней концентрации алюминия в моче ( $0,018 \pm 0,0023$  мг/дм<sup>3</sup>)

<sup>2</sup> МУК 4.1.3230–14 «Измерение массовых концентраций химических элементов в биосредах (кровь, моча) методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой».

<sup>3</sup> МУК 4.1.773–99 «Количественное определение ионов фтора в моче с использованием ионселективного электрода».

в 2,8 раза относительно референтного уровня ( $p = 0,0001$ ) и в 1,5 раза – показателя группы сравнения ( $0,012 \pm 0,0013$  мг/дм<sup>3</sup>;  $p = 0,021$ ). Средняя концентрация фторид-иона в моче у детей группы наблюдения ( $0,64 \pm 0,038$  мг/дм<sup>3</sup>) превышала в 1,2–3,2 раза референтные значения ( $p = 0,0001$ ) и уровень группы сравнения ( $0,52 \pm 0,058$  мг/дм<sup>3</sup>;  $p = 0,0006$ ). При этом у 47,1–59,45% обследованных детей регистрировались пробы с повышенным уровнем исследуемых соединений.

В промышленном центре 71,9% детей имели ту или иную костно-мышечную патологию, выявленную при клиническом осмотре, при этом в группе сравнения она диагностировалась реже – у 57,9% детей ( $p = 0,007$ ). В то же время выявлено, что риск формирования болезней костно-мышечной системы у детей группы наблюдения был в 1,2 раза выше (RR = 1,245; CI: 1–1,49;  $p = 0,017$ ). Установлена зависимость частоты регистрации нарушений костно-мышечной системы от содержания в моче алюминия и фторид-иона ( $R^2 = 0,144–0,388$ ;  $89,13 \leq F \leq 344,72$ ;  $p = 0,0001$ ).

Среди болезней костно-мышечной системы практически у  $\frac{2}{3}$  детей, проживающих в промышленном центре, отмечались деформирующие дорсопатии (M 43.9), которые в сравниваемой группе встречались у каждого второго ребёнка ( $p = 0,004$ ). Установлена зависимость частоты выявления нарушений осанки (M 43.9) от уровня в моче алюминия и фторид-иона ( $R^2 = 0,115–0,134$ ;  $69,43 \leq F \leq 82,33$ ;  $p = 0,0001$ ). У детей, проживающих в промышленном центре с предприятием цветной металлургии, риск развития деформирующих дорсопатий выше в 1,3 раза (RR = 1,319; CI: 1,066–1,632;  $p = 0,011$ ). Патологии стопы в группе наблюдения отмечались чаще в 9,4 раза (9,9%), в группе сравнения такой диагноз был лишь у одного ребёнка (1,05%;  $p = 0,004$ ). У детей, проживающих в промышленном центре, риск формирования нарушений стопы был выше в 9,4 раза (RR = 9,404; CI: 1,314–67,278;  $p = 0,026$ ).

Биохимические показатели минерального равновесия обмена фосфора и кальция у детей обеих групп находились в диапазоне нормативных значений (см. таблицу), при этом следует отметить повышенное содержание кальция в сыворотке крови у детей в группе наблюдения ( $p = 0,0035$ ). Кроме того, следует отметить повышенный уровень ионизированного кальция практически у всех обследованных детей ( $p = 0,0001$ ). Получена математическая модель вероятности повышения в крови содержания ионизированного кальция при увеличении уровня алюминия в моче ( $R^2 = 0,948$ ;  $F = 8074,69$ ;  $p = 0,0001$ ).

В группе наблюдения уровень костного глутаминового белка, маркёра синтеза костной ткани, превышал нормативное значение в 1,6 раза и показатель группы сравнения в 1,3 раза ( $p = 0,0001–0,014$ ). И лишь в группе наблюдения у каждого четвёртого ребёнка (25,4%) был обнаружен повышенный уровень N-остеокальцина. Выявлена слабая корреляционная связь между содержанием алюминия в моче и уровнем костного глутаминового белка ( $r = 0,245$ ;  $p = 0,03$ ).

Маркёр резорбции кости, фермент, вырабатываемый остеокластами (TRACP), у детей, проживающих в промышленном центре, превышал в 2,1–2,6 раза нормативный показатель и значение группы сравнения ( $p = 0,0001$ ). Следует подчеркнуть, что активация данного маркера резорбции кости встречалась у 59,3% детей в группе наблюдения, что в 4,4 раза превышало частоту регистрации подобных проб у детей в группе сравнения (13,6%;  $p = 0,0001$ ). Получена умеренная корреляционная связь между содержанием в моче алюминия и активностью TRACP ( $r = 0,339$ ;  $p = 0,003$ ). Вероятность повышения активности тартрат-резистентной кислой фосфатазы у детей, проживающих в промышленном центре с предприятием цветной металлургии, была в 9,2 раза выше (OR = 9,236; CI: 2,457–34,708;  $p = 0,001$ ).

Результаты денситометрии показали, что у детей группы наблюдения среднее значение Z-индекса составило  $-1$  у.е.  $[-1,7; -0,3]$  и было ниже показателя сравниваемой группы  $-0,9$  у.е.  $[-1,5; -0,2]$  ( $p = 0,09$ ). Снижение минеральной плотности кости встречалось у 54,7% детей, проживающих в промышленном центре, что было в 1,2 раза выше группы сравнения ( $p = 0,17$ ). Получены математические модели вероятности развития нарушения минерализации костной ткани при повышении содержания в крови ионизированного кальция и активности TRACP ( $R^2 = 0,112$ – $0,757$ ;  $42,576 \leq F \leq 130,443$ ;  $p = 0,0001$ ).

## Обсуждение

Опубликованные в последние годы данные исследований, проведённых на территориях с промышленным химическим загрязнением воздушной среды, выявляют высокую распространённость среди детского населения патологий костно-мышечной системы [21, 25, 26]. Наши результаты подтверждают этот вывод.

В формировании костной ткани большое значение имеет сбалансированный уровень кальция и фосфора в сыровотке крови [21, 25, 26]. В условиях неблагоприятного воздействия техногенных химических соединений в крови детей отмечается повышение уровня ионизированного кальция, что может свидетельствовать об активации процессов резорбции кости [20, 27]. В детском возрасте процессы ремоделирования костной ткани протекают активно с преобладанием процессов формирования кости [27–29]. Согласно полученным данным, у детей, проживающих в промышленном центре с предприятием цветной металлургии, отмечается нарушение процессов остеогенеза, проявляющееся более чем у половины экспонированных детей повышением активности остеокластов, что может сопровождаться снижением минеральной плотности кости. У детей, проживающих в промышленном центре, вероятность повышения маркера резорбции кости выше в 9,2 раза. В нашем исследовании также показано, что усиление процессов резорбции у детей связано и с негативным воздействием алюминия. Следует отметить, что у каждого четвертого ре-

бёнка, проживающего в условиях влияния промышленных химических факторов, были усилены процессы синтеза кости вследствие повышенного содержания алюминия в биосредах. Согласно результатам проведённой денситометрии, изменение метаболизма костной ткани у экспонированных детей может приводить к снижению минерализации кости и развитию остеопенических состояний.

Выявленные маркёры нарушений костной ткани (содержание ионизированного кальция, уровень N-остеокальцина, активность тартрат-резистентной кислой фосфатазы, значение Z-индекса) могут применяться для формирования доказательной базы по установлению причинённого вреда здоровью на территориях воздействия предприятий, производящих сплавы цветных металлов. Кроме того, полученные результаты могут быть использованы при разработке профилактических мероприятий, направленных на снижение распространённости у детей костно-мышечной патологии, ассоциированной с негативным воздействием техногенных химических соединений предприятий цветной металлургии.

**Ограничение исследования.** Исследование проведено у детей в возрасте 5–7 лет.

## Заключение

У детей, проживающих в промышленном центре с предприятием цветной металлургии, отмечается повышение до 3,2 раза содержания алюминия и фторид-иона в моче относительно референтных уровней и показателей группы сравнения. Патология костно-мышечной системы, представленная в 65,2% случаев деформирующей дорсопатией, диагностируется более чем у  $\frac{1}{2}$  экспонированных детей. Выявлено, что риск развития патологии костно-мышечной системы, в том числе нарушений осанки, у детей, проживающих в промышленном центре с предприятиями цветной металлургии, выше до 1,3 раза. У экспонированных детей отмечается нарушение костного метаболизма, проявляющееся повышенным содержанием ионизированного кальция в крови, у каждого четвертого ребёнка – ускорением формирования костной ткани (маркёр – уровень N-остеокальцина), а в 59,3% – усилением резорбции кости (маркёр – активность тартрат-резистентной кислой фосфатазы), вероятность развития которой выше в 9,2 раза у детей, проживающих в промышленном центре с предприятием цветной металлургии. Нарушение процессов ремоделирования костной ткани сопровождается почти у каждого второго ребёнка формированием остеопенических состояний (маркёр – Z-индекс). Таким образом, маркёрные показатели нарушений метаболизма костной ткани, приводящих к формированию патологии костно-мышечной системы, у детей, проживающих в промышленном центре с предприятием цветной металлургии, могут быть использованы для реализации санитарно-эпидемиологических и медико-профилактических мероприятий, направленных на снижение риска развития остеопенических состояний в детском возрасте.

## Литература

1. Мирская Н.Б., Коломенская А.Н., Синякина А.Д. Медико-социальная значимость нарушений и заболеваний костно-мышечной системы детей и подростков (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2015; 94(1): 97–104. <https://elibrary.ru/lsbqov>
2. ВОЗ. Информационный бюллетень. Заболевания опорно-двигательного аппарата; 2021. Доступно: <https://who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>
3. Баранов А.А., Альбицкий В.Ю. Состояние здоровья детей России, приоритеты его сохранения и укрепления. *Казанский медицинский журнал*. 2018; 99(4): 698–705. <https://doi.org/10.17816/KMJ2018-698> <https://elibrary.ru/xughox>
4. Антонова А.А., Яманова Г.А., Боговденнова В.Ф., Умарова Д.Н. Основные тенденции заболеваемости среди детского населения. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2021; (1–3): 6–9. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.1.054> <https://elibrary.ru/qbaaic>
5. Здравоохранение в России – 2023: Статистический сборник. М.: Росстат; 2023.
6. Богормистрова В.А., Свобода П.Н., Шестакова В.Н., Удовенко А.А., Сосин Д.В. Структура поражений опорно-двигательного аппарата у детей подросткового возраста с учётом соматической патологии и среды проживания. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2022; 10(1): 5–12. <https://doi.org/10.17816/PTORS96525> <https://elibrary.ru/oreraq>
7. Покатилов А.Б., Новак А.П., Сарванова С.В., Ярошенко И.П. О тревожных тенденциях роста заболеваемости костно-мышечной системы у детей и подростков и перспективах их профилактики. *Главный врач Юга России*. 2020; (1): 19–22. <https://elibrary.ru/nrtjqu>
8. Горбач А.П., Сергеев О.М., Шурова Е.Н. Идиопатический сколиоз как мультифакторное заболевание: систематизированный обзор современной литературы. *Хирургия позвоночника*. 2022; 19(2): 9–32. <https://doi.org/10.14531/ss2022.2.19-32> <https://elibrary.ru/pudhgi>
9. Киреева Е.Б., Гайдук С.В., Агафонов П.В. Нарушения метаболизма костной ткани у работников химически опасных объектов. *Вестник терапевта*. 2023; (2): 23–8.

10. Чашин В.П., Иванова О.М., Иванова М.А. Медико-экологические аспекты связи расстройств функциональных систем человека с содержанием микроэлементов бария и стронция в организме. Обзор литературы. *Экология человека*. 2019; (4): 39–47. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-4-39-47> <https://elibrary.ru/zdddr>
11. Жданова-Заплевичко И.Г., Землянова М.А., Пескова Е.В. Оценка нарушений биохимических показателей состояния костной ткани у детей в условиях аэрогенного воздействия приоритетных химических факторов в зоне влияния предприятия по производству алюминия. *Вестник Пермского университета. Серия: Биология*. 2017; (2): 216–21. <https://elibrary.ru/zcmnlb>
12. Вандышева А.Ю., Лузетский К.П., Устинова О.Ю., Шербаков А.А. Темпы биологического созревания и особенности нарушений костно-мышечной системы у детей в условиях пероральной экспозиции стронция с питьевой водой. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНУСО*. 2015; (12): 44–8. <https://elibrary.ru/vbevur>
13. Скупневский С.В., Иванов Д.В. Воздействие алюминия и его соединений на функции органов и тканей человека (обзорная статья). *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание*. 2023; (1): 3–7.
14. Шугалей И.В., Гарабаджиу А.В., Илюшин М.А., Судариков А.М. Некоторые аспекты влияния алюминия и его соединений на живые организмы. *Экологическая химия*. 2012; 21(3): 172–86. <https://elibrary.ru/stgsyt>
15. Бибко А.А., Бухарова О.В., Коструб Е.А., Мирошниченко А.Г., Коровкин М.В. Гидроксилапатит костной ткани: динамика кристаллохимических изменений при остеопорозе. *Минералогия*. 2023; 9(4): 75–89.
16. Жукова А.Г., Михайлова Н.Н., Казичкая А.С., Алехина Д.А. Современные представления о молекулярных механизмах физиологического и токсического действия соединений фтора на организм. *Медицина в Кузбассе*. 2017; 16(3): 4–11. <https://elibrary.ru/zgilyf>
17. Калюжная Е.Э., Просяков А.Ю., Волобаев В.П. Генотоксические свойства фторид-иона (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2020; 99(3): 253–8. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-3-253-258> <https://elibrary.ru/ltjgfs>
18. Шербак В.А., Каргина И.Г., Шербак Н.М. Маркеры метаболизма костной ткани при рахите. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2020; 65(4): 71–7. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2020-65-4-71-77> <https://elibrary.ru/qfwixt>
19. Мансурова Г.Ш., Мальцев С.В. Остеопороз у детей: роль кальция и витамина D в профилактике и терапии. *Практическая медицина*. 2017; (5): 55–9. <https://elibrary.ru/zgwtwz>
20. Вазннова И.М., Ильин А.Г., Клочкова У.Н. Некоторые патогенетические и клинико-терапевтические аспекты остеопороза у детей. *Педиатрическая фармакология*. 2011; 8(6): 30–5. <https://elibrary.ru/oupjxi>
21. Антонова А.А., Яманова Г.А., Сердюков В.Г., Магомедова М.Р. Динамика состояния опорно-двигательного аппарата у детей и подростков. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2020; (7–2): 53–6. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.044> <https://elibrary.ru/inbztb>
22. Schwend R.M. The burden of pediatric musculoskeletal diseases worldwide. *Orthop. Clin. North Am.* 2020; 51(2): 207–17. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2019.11.005>
23. Кишкун А.А. *Руководство по лабораторным методам диагностики*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2014.
24. Мамаев А.Н., Кудлай Д.А. *Статистические методы в медицине*. М.: Практическая медицина; 2021. <https://elibrary.ru/camdps>
25. Лучанинова В.Н., Цветкова М.М., Веремчук Л.В., Крукович Е.В., Мостовая И.Д. Состояние здоровья детей и подростков и факторы, влияющие на его формирование. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(6): 561–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-6-561-568> <https://elibrary.ru/zapeel>
26. Колесникова С.М., Топалов К.П. Заболеваемость детского населения Хабаровского края в 2017–2022 годах: состояние и тенденции. *Здравоохранение Дальнего Востока*. 2023; (3): 4–12. <https://doi.org/10.33454/1728-1261-2023-3-4-12> <https://elibrary.ru/bstysp>
27. Мальцев С.В., Мансурова Г.Ш. Снижение минеральной плотности кости у детей и подростков: причины, частота развития, лечение. *Вопросы современной педиатрии*. 2015; 14(5): 573–8. <https://doi.org/10.15690/vsp.v14i5.1442> <https://elibrary.ru/ufqnyb>
28. Таранушенко Т.Е., Киселева Н.Г. Остеопороз в детском возрасте: особенности минерализации скелета у детей, профилактика и лечение. *Медицинский совет*. 2020; (10): 164–71. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2020-10-164-171> <https://elibrary.ru/jduduf>
29. Нуруллина Г.М., Ахмадуллина Г.И. Костное ремоделирование в норме и при первичном остеопорозе: значение маркеров костного ремоделирования. *Архив Внутренней медицины*. 2018; 8(2): 100–10. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2018-8-2-100-110> <https://elibrary.ru/ytxtka>

## References

1. Mirskaya N.B., Kolomenskaya A.N., Sinyakina A.D. Prevalence and medical and social importance of disorders and diseases of the musculoskeletal systems in children and adolescents (review of literature). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015; 94(1): 97–104. <https://elibrary.ru/tsbqov> (in Russian)
2. WHO. Fact sheets. Musculoskeletal health; 2021. Available at: <https://who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions> (in Russian)
3. Baranov A.A., Albitskiy V.Yu. State of health of children in Russia, priorities of its preservation and improving. *Kazanskii meditsinskii zhurnal*. 2018; 99(4): 698–705. <https://doi.org/10.17816/KMJ2018-698> <https://elibrary.ru/xughox> (in Russian)
4. Antonova A.A., Yamanova G.A., Bogovdenova V.F., Umarova D.N. Main trends in morbidity among child population. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. 2021; (1–3): 6–9. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.1.054> <https://elibrary.ru/qbaaic> (in Russian)
5. Healthcare in Russia – 2023: Statistical collection. Moscow: Rosstat; 2023. (in Russian)
6. Bogomistrova V.A., Svoboda P.N., Shestakova V.N., Udovenko A.A., Sosin D.V. The structure of lesions of the musculoskeletal system in adolescent children, considering the somatic pathology and living environment. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta*. 2022; 10(1): 5–12. <https://doi.org/10.17816/PTORS96525> <https://elibrary.ru/oreraq> (in Russian)
7. Pokatilov A.B., Nova A.P., Sarvanova S.V., Yaroshenko I.P. Worrying trends in the incidence of musculoskeletal system in children and adolescents and prospects their prevention. *Glavnyi vrach Yuga Rossii*. 2020; (1): 19–22. <https://elibrary.ru/nptjqv> (in Russian)
8. Gorbach A.P., Sergeenko O.M., Shchurova E.N. Idiopathic scoliosis as a multifactorial disease: systematic review of current literature. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2022; 19(2): 9–32. <https://doi.org/10.14531/ss2022.2.19-32> <https://elibrary.ru/pudhgi> (in Russian)
9. Kireeva E.B., Gaiduk S.V., Agafonov P.V. Bone Metabolism Disorders in Personnel of Chemically Hazardous Facilities. *Vestnik terapevta*. 2023; (2): 23–8. (in Russian)
10. Chashchin V.P., Ivanova O.M., Ivanova M.A. Medical and ecological aspects of associations between human exposure to trace concentrations of stable barium and strontium and functional disorders of the body. A review. *Ekologiya cheloveka*. 2019; (4): 39–47. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-4-39-47> <https://elibrary.ru/zdddr> (in Russian)
11. Zhdanova-Zaplevichko I.G., Zemlyanova M.A., Peskova E.V. Assessing breaches of biochemical indicators of the state of bone tissue in children under conditions the airborne impact priority of chemical factors in the zone of influence companies producing aluminum. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Biologiya*. 2017; (2): 216–21. <https://elibrary.ru/zcmnlb> (in Russian)
12. Vandyшева A.U., Luzhetskyy K.P., Ustinova O.Yu., Shcherbakov A.A. Rates of the biological maturation and particularities of violation of the locomotor system in children under conditions of oral exposure to strontium in drinking water. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNISO*. 2015; (12): 44–8. <https://elibrary.ru/vbevur> (in Russian)
13. Skupnevskiy S.V., Ivanov D.V. The effect of aluminum and its compounds on the functions of human organs and tissues (review article). *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii. Elektronnoe izdanie*. 2023; (1): 3–7. (in Russian)
14. Shugalei I.V., Garabadihu A.V., Ilyushin M.A., Sudarikov A.M. Some aspects of effect of aluminium and its compounds on living organisms. *Ekologicheskaya khimiya*. 2012; 21(3): 172–86. <https://elibrary.ru/stgsyt> (in Russian)
15. Bibko A.A., Bukharova O.V., Kostrub E.A., Miroshnichenko A.G., Korovkin M.V. Hydroxylapatite of bone tissue: dynamics of crystallochemical alterations upon osteoporosis. *Mineralogiya*. 2023; 9(4): 75–89. (in Russian)
16. Zhukova A.G., Mikhailova N.N., Kazitskaya A.S., Alekhina D.A. Contemporary concepts of molecular mechanisms of the physiological and toxic effects of fluorine compounds on an organism. *Meditsina v Kuzbasse*. 2017; 16(3): 4–11. <https://elibrary.ru/zgilyf> (in Russian)
17. Kalyuzhnaya E.E., Prosekov A.Yu., Volobaev V.P. Genotoxic properties of fluorines (review). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(3): 253–8. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-3-253-258> <https://elibrary.ru/ltjgfs> (in Russian)
18. Scherbak V.A., Kargina I.G., Scherbak N.M. Markers of bone metabolism in children with rickets. *Rossiiskii vestnik perinatologii i pediatrii*. 2020; 65(4): 71–7. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2020-65-4-71-77> <https://elibrary.ru/qfwixt> (in Russian)
19. Mansurova G.Sh., Maltsev S.V. Osteoporosis in children – the role of calcium and vitamin D in prevention and therapy. *Prakticheskaya meditsina*. 2017; (5): 55–9. <https://elibrary.ru/zgwtwz> (in Russian)
20. Vazhnova I.M., Ilyin A.G., Klochkova U.N. Some pathogenetic, clinical and therapeutic aspects of osteoporosis in children. *Pediatricheskaya farmakologiya*. 2011; 8(6): 30–5. <https://elibrary.ru/oupjxi> (in Russian)
21. Antonova A.A., Yamanova G.A., Serdyukov V.G., Magomedova M.R. Dynamics of locomotor apparatus state in children and adolescents. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. 2020; (7–2): 53–6. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.97.7.044> <https://elibrary.ru/inbztb> (in Russian)
22. Schwend R.M. The burden of pediatric musculoskeletal diseases worldwide. *Orthop. Clin. North Am.* 2020; 51(2): 207–17. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2019.11.005>
23. Kishkun A.A. *Guide to Laboratory Diagnostic Methods [Rukovodstvo po laboratornym metodam diagnostiki]*. Moscow: GEOTAR-Media; 2014. (in Russian)
24. Mamaev A.N., Kudlay D.A. *Statistical Methods in Medicine [Statisticheskie metody v meditsine]*. Moscow: Prakticheskaya meditsina; 2021. <https://elibrary.ru/camdps> (in Russian)
25. Luchaninova V.N., Tsvetkova M.M., Veremchuk L.V., Krukovich E.V., Mostovaya I.D. Health state of children and teenagers and factors affecting on its formation. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(6): 561–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-6-561-568> <https://elibrary.ru/zapeel> (in Russian)

## Original article

26. Kolesnikova S.M., Topalov K.P. The incidence of disease of children of the Khabarovsk krai in 2017–2022: condition and trends. *Zdravookhranenie Dal'nego Vostoka*. 2023; (3): 4–12. <https://doi.org/10.33454/1728-1261-2023-3-4-12> <https://elibrary.ru/bstysp> (in Russian)
27. Maltsev S.V., Mansurova G.Sh. Reduced bone mineral density in children and adolescents: causes, incidence and treatment. *Voprosy sovremennoi pediatrii*. 2015; 14(5): 573–8. <https://doi.org/10.15690/vsp.v14i5.1442> <https://elibrary.ru/uqfnyb> (in Russian)
28. Taranushenko T.E., Kiseleva N.G. Paediatric osteoporosis: features of skeletal mineralization in children, prevention, and treatment. *Meditsinskii sovet*. 2020; (10): 164–71. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2020-10-164-171> <https://elibrary.ru/jduduf> (in Russian)
29. Nurullina G.M., Akhmadullina G.I. Bone remodeling in norm and in primary osteoporosis: the significance of bone remodeling markers. *Arkhiv Vnutrennei meditsiny*. 2018; 8(2): 100–10. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2018-8-2-100-110> <https://elibrary.ru/yxtka> (in Russian)

## Сведения об авторах

**Маклакова Ольга Анатольевна**, доктор мед. наук, зав. консультативно-поликлиническим отделением ФБУН ФНЦ МПТ УРЗН Роспотребнадзора, 614045, Пермь, Россия. E-mail: [olga\\_mcl@fcrisk.ru](mailto:olga_mcl@fcrisk.ru)

**Устинова Ольга Юрьевна**, доктор мед. наук, профессор, зам. директора по клинической работе ФБУН ФНЦ МПТ УРЗН Роспотребнадзора, 614045, Пермь, Россия. E-mail: [ustinova@fcrisk.ru](mailto:ustinova@fcrisk.ru)

**Валина Светлана Леонидовна**, канд. мед. наук, зав. отд. гигиены детей и подростков ФБУН ФНЦ МПТ УРЗН Роспотребнадзора, 614045, Пермь, Россия. E-mail: [valina@fcrisk.ru](mailto:valina@fcrisk.ru)

## Information about the authors

**Olga A. Maklakova**, DSc (Medicine), Head of the Consultative and Polyclinic Department of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-9574-9353> E-mail: [olga\\_mcl@fcrisk.ru](mailto:olga_mcl@fcrisk.ru)

**Olga Yu. Ustinova**, DSc (Medicine), professor, deputy director for clinical work of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9916-5491> E-mail: [ustinova@fcrisk.ru](mailto:ustinova@fcrisk.ru)

**Svetlana L. Valina**, PhD (Medicine), head of the Department of hygiene of children and adolescents of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-1719-1598> E-mail: [valina@fcrisk.ru](mailto:valina@fcrisk.ru)