



УДК 616.71-007.251-073.786+615.849.11+611.018.43+616-007.234

ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕНСИТОМЕТРИИ В ОЦЕНКЕ МИНЕРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ КОСТНОЙ ТКАНИ У ДЕТЕЙ

© Дмитрий Владимирович Бавыкин, Лилия Александровна Титова,
Ирина Анатольевна Бавыкина, Илья Альбертович Баранов

Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко. 394036, г. Воронеж,
ул. Студенческая, д. 10

Контактная информация: Дмитрий Вадимович Бавыкин — к.м.н., доцент кафедры инструментальной диагностики.
E-mail: bavykin_d@list.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8802-3914> SPIN: 6688-1397

Для цитирования: Бавыкин Д.В., Титова Л.А., Бавыкина И.А., Баранов И.А. Диагностическое значение ультразвуковой денситометрии в оценке минеральной плотности костной ткани у детей // Визуализация в медицине. 2024. Т. 6. № 1. С. 11–16.

Поступила: 27.12.2023

Одобрена: 15.01.2024

Принята к печати: 20.03.2024

Резюме. В статье приведены литературные данные относительно преимуществ и недостатков использования ультразвуковой денситометрии в оценке состояния костного метаболизма у детей. Приведены примеры эффективного применения скрининговых исследований в диагностике костного возраста в детской популяции. Показаны исследования, которые демонстрируют результаты сравнения двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии и ультразвуковой методики в различных возрастных группах. Анализ литературных данных содержит сведения о частоте встречаемости остеопении и остеопороза в детском возрасте, рассмотрены факторы, которые оказывают влияние на формирование костной ткани. Показана роль мониторинга минеральной плотности костной ткани при диспансерном наблюдении в педиатрической практике. Представлен анализ перспектив использования искусственного интеллекта в оценке рентгенологических данных, выявлены направления научных изысканий, развитие которых будет способствовать более широкому применению метода ультразвуковой денситометрии при определении минеральной плотности костной ткани у детей.

Ключевые слова: метаболизм костной ткани, остеоскрининг, остеопения, остеопороз

THE DIAGNOSTIC VALUE OF ULTRASOUND DENSITOMETRY IN THE ASSESSMENT OF BONE MINERAL DENSITY IN CHILDREN

© Dmitry V. Bavykin, Lilia A. Titova, Irina A. Bavykina, Ilya A. Baranov

Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko. 10 Studencheskaya str., Voronezh, 394036, Russian Federation

Contact information: Dmitry V. Bavykin — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Instrumental Diagnostics. E-mail: bavykin_d@list.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8802-3914> SPIN: 6688-1397

For citation: Bavykin DV, Titova LA, Bavykina IA, Baranov IA. The diagnostic value of ultrasound densitometry in the assessment of bone mineral density in children. Visualization in Medicine. 2024;6(1):11–16.

Received: 27.12.2023

Revised: 15.01.2024

Accepted: 20.03.2024

Abstract. The article presents literature data regarding the advantages and disadvantages of using ultrasound densitometry in assessing the state of bone metabolism in children. Examples of the effective use of screening studies in diagnosing bone age in the pediatric population are given. Studies are shown that demonstrate the results of comparisons between dual-energy X-ray absorptiometry and ultrasound techniques in different age groups. Analysis of literature data contains information on the incidence of osteopenia and osteoporosis in childhood, factors that influence the formation of bone tissue are considered. The role of monitoring bone mineral density during clinical observation in pediatric practice is shown. An analysis of the prospects for using artificial intelligence in assessing radiological data is presented, directions of scientific research are identified, the development of which will contribute to the wider use of the ultrasound densitometry method in determining bone mineral density in children.

Keywords: bone metabolism, screening, osteopenia, osteoporosis

В педиатрической практике может отмечаться снижение костного метаболизма не только при наличии хронических заболеваний или патологии костной системы, но и в процессе физиологического роста ребенка в периоды «ростовых скачков». Большое влияние на состояние костной ткани в раннем возрасте оказывают также пренатальные факторы, питание, двигательная активность, достаточность питания и обеспеченность нутриентами [1–3]. В этой связи оценка минеральной плотности костной ткани является важным компонентом динамического наблюдения в детском возрасте.

Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (ДРА) прочно вошла в клиническую практику и зарекомендовала себя как простой неинвазивный метод диагностики изменений минеральной плотности костной ткани (МПКТ) у детей. Денситометрия позволяет проводить диагностику и динамическое наблюдение над состоянием костной минерализации при разнообразных соматических патологиях [4–7].

В последние годы внимание ряда исследователей сосредоточено на изучении возможности использования ультразвуковой денситометрии в оценке МПКТ и костного возраста у детей. К преимуществам данной методики можно отнести отсутствие лучевой нагрузки, высокую скорость проведения исследования, хорошие точность и воспроизводимость результата в сочетании с отсутствием требований к специализированным условиям при проведении исследования и низкими затратами на его выполнение. В этой связи широко обсуждается возможность использования ультразвуковой денситометрии в проведении эпидемиологических исследований для оценки костного возраста [8–10]. Отсутствие сведений о пороговых показателях скорости звука костной ткани и возрастных особенностях прочности в детской популяции являются недостатками методики, что может способствовать появлению гипердиагностики частоты снижения МПКТ у детей [11–18].

Отечественные исследования, проведенные под руководством А.А. Щербакова в 2020 году, подтверждают ценность методики в определении распространенности остеопенического синдрома в детской популяции. Авторы провели ультразвуковую денситометрию школьникам 7–17 лет (84 мальчиков и 85 девочек) и установили, что частота встречаемости снижения МПКТ зависит от возраста и пола детей и располагается в диапазоне 28–65% (наиболее часто встречалась остеопения I степени). С возрастом остеопенический синдром претерпевает следующие изменения: статистически значимо в 2 раза чаще в младшем

школьном возрасте снижение МПКТ выявлялось у девочек (31,8 и 60%; $p=0,01$), в период обучения в 5–9 классе результаты по гендерному принципу значительно не отличались (65 и 53,3%; $p=0,2$), в то время как среди старшеклассников чаще остеопенический синдром диагностировался у юношей (60 и 28%; $p=0,02$). Деформирующая дорсопатия, функциональная диспепсия, миопия, низкорослость и белково-энергетическая недостаточность зачастую сопровождали снижение МПКТ [11]. Прицельный скрининг на наличие остеопенического синдрома у детей с хронической соматической патологией с использованием ультразвуковой денситометрии выявил практически у половины обследуемых (41,3%) наличие снижения МПКТ, в то время как в группе здоровых сверстников остеопения встречалась в 2 раза реже (20,9%) [19]. В аналогичном исследовании, проведенном среди пациентов в возрасте 19 лет, при наличии хронических заболеваний остеопения и остеопороз диагностировались на уровне 30 и 2% соответственно [14].

По данным Н.Ю. Крутиковой и соавт., снижение МПКТ, по данным ультразвуковой денситометрии, отмечается на 4-м месяце жизни, а к возрасту 6 лет стремительно нарастает с пиковым значением в возрасте 2 лет. При этом в раннем возрасте статистически значимо остеопения реже встречается у мальчиков, а в возрасте 5–6 лет — у девочек. Возрастная оценка изменений костной ткани проводилась с участием 2595 дошкольников [20]. В то же время скрининг, проведенный с использованием ультразвуковой денситометрии на большеберцовой кости голени в середине диафиза, среди 2316 детей раннего возраста 1-й или 2-й группы здоровья продемонстрировал, что критическими периодами в формировании костной ткани является возраст 4, 12, 18, 24 и 36 месяцев. По мнению авторов, включение методики в диагностический комплекс при проведении диспансерного наблюдения детей до 3 лет позволит выявлять и предотвращать снижение МПКТ [21].

Ультразвуковая денситометрия ввиду своей безопасности может использоваться у детей с рождения. При оценке состояния МПКТ 189 недоношенных детей с массой тела менее 1500 г установлено, что фактор использования экстракорпорального оплодотворения (ЭКО) и массы тела новорожденных является значимым в состоянии МПКТ. Авторами установлено, что эти факторы приводят к значимому снижению прочности кости. Частота встречаемости существенного снижения МПКТ ($SOS <10\%$ и $>3\%$) по данным УЗИ-денситометрии у недоношенных детей, рожденных с

экстремально низкой массой тела после ЭКО, отмечено в 12,8% случаев [22].

Прямая корреляция замечена при сопоставлении результатов ультразвуковой денситометрии и ДРА [23]. В сравнительное исследование были включены 1600 детей разного возраста, выявлено снижение костной плотности по данным УЗ-денситометрии у недоношенных с выраженной обратной корреляцией данных МПКТ с массой тела. Каждый третий недоношенный ребенок имел остеопенические изменения (30%), а остеопороз выявлен у 5% новорожденных пациентов. В группе доношенных детей снижение МПКТ определено у 11% новорожденных, изменений, характерных для остеопороза, не выявлено. При обследовании ДРА в области эпифиза плечевой кости выявлены аналогичные изменения между группами новорожденных. В возрастной группе 3–7 лет отмечалась относительно низкая частота снижения МПКТ. Остеопения выявлена в 14,4% случаев, а остеопороз имели 3,3% детей. Среди младших школьников остеопения составила 24,2%, остеопороз выявлен в 5,7% случаев. В группе пациентов в возрасте 11–17 лет не отмечено существенных отличий (230 школьников обследованы методом ДРА и 222 ребенка — ультразвуковой денситометрией). При оценке ДРА остеопения выявлена у 18,6% подростков, а с использованием УЗ-метода при проведении анализа на лучевой кости снижение МПКТ диагностировано у 18,9% пациентов, а на большеберцовой кости — в 22,5% случаев [24].

В проспективном обсервационном исследовании с участием недоношенных детей, рожденных раньше 32 недель гестации или с массой тела ≤ 1800 г при рождении, проведено сканирование ДРА для измерения минерального состава кости и ультразвуковое сканирование большеберцовой кости для измерения скорости звука в кости. В результате установлена слабая обратная корреляция (R^2 0,163, $p < 0,01$). Результаты ДРА и ультразвуковой денситометрии коррелировали с параметрами в скорректированном гестационном возрасте на момент сканирования костей ($p < 0,05$ – $0,001$). Результаты ультразвукового исследования коррелировали со сроком беременности при рождении ($p < 0,001$), в отличие от результатов ДРА. Наблюдалась статистически значимая слабая обратная корреляция между ДРА и ультразвуковой денситометрией [25].

При проведении аналогичного исследования 60 детям в возрасте от 9 до 10 лет, рожденным недоношенными, чувствительность варьировала от 33 до 92%, а специфичность — от 16 до 68%. Положительные и отрицательные прогностические

значения варьировали от 4 до 38% и от 82 до 97% соответственно. Установлены статистически значимые слабые корреляции и слабая взаимосвязь между измерениями. Результаты ДРА не эквивалентны ультразвуковым данным и, следовательно, по мнению авторов, не могут являться заменой в оценке МПКТ. Данное исследование в противовес ранее приведенным ставит под сомнение рациональность использования ультразвуковой денситометрии в определении МПКТ [26].

K. Utczas и соавт. демонстрируют успешное применение ультразвуковой денситометрии в оценке костного возраста у детей. При проведении оценки МПКТ у 1502 здоровых детей в возрасте от 6 до 18 лет с помощью количественной ультразвуковой денситометрии и рентгенограмм левой кисти и запястья у подвыборки из 47 случайно взятых участников авторами установлено наличие значимой корреляции со всеми рентгенологическими оценками возраста. Коэффициенты корреляции варьировали от 0,895 до 0,958, самая сильная корреляция ультразвуковой оценки зрелости скелета была обнаружена с помощью метода Таннера–Уайтхауса. Ученые предлагают использовать ультразвуковую оценку костного возраста в хронологическом возрасте 8,5–16,0 лет у мальчиков и 7,5–15,0 лет у девочек [8].

В настоящее время проводятся многоцентровые валидации с использованием искусственного интеллекта в оценке результатов инструментальных методов исследования, что дает возможность унификации методологии. Система демонстрирует свой потенциал в повышении эффективности результатов диагностики и последующего лечения пациентов и снижении затрат на здравоохранение [27]. Появление референтных возрастных баз и накопление информации об эффективности использования ультразвуковой денситометрии позволят повысить качество диагностики и оказания медицинской помощи детскому населению.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

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

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьева Е.И., Сутовская Д.В., Зобенко В.Я. и др. Состояние минеральной плотности костной ткани у школьников города Краснодара. *Сибирский медицинский журнал*. Томск: 2011;26(4-2):231–236.
2. Жекайте Е.К., Кондратьева Е.И., Лошкова Е.В. и др. Снижение минеральной плотности кости у детей. *Вопросы практической педиатрии*. 2023;18(1):111–123. DOI: 10.20953/1817-7646-2023-1-111-123.
3. Coheley L.M., Lewis R.D. Dietary Patterns and Pediatric Bone. *Curr Osteoporos Rep*. 2021;19(1):107–114. DOI: 10.1007/s11914-020-00654-8.
4. Жекайте Е.К., Максимычева Т.Ю. Снижение минеральной плотности у детей с муковисцидозом: динамика показателей за 15 лет. *Архив педиатрии и детской хирургии*. 2023;1(1):31–40. DOI: 10.31146/2949-4664-apps-1-1-31-40.
5. Новикова В.П., Кузьмина Д.А., Гузеева О.Д. Хронический гастрит и патология костной ткани у детей. *Врач-аспирант*. 2011;47(4.1):248–254.
6. Маслова Н.А., Звонкова Н.Г., Боровик Т.Э. и др. Изменения метаболизма костной ткани при детском церебральном параличе. *Российский педиатрический журнал*. 2022;25(2):76–83. DOI: 10.46563/1560-9561-2022-25-2-76-83.
7. Бавыкина И.А., Леднёва В.С., Бавыкин Д.В. и др. Физическое развитие и минеральная плотность костной ткани детей с воспалительными заболеваниями кишечника. *Медицинский алфавит*. 2023;(34):16–19. DOI: 10.33667/2078-5631-2023-34-16-19.
8. Utczas K., Muzsnai A., Cameron N. et al. A comparison of skeletal maturity assessed by radiological and ultrasonic methods. *Am J Hum Biol*. 2017;29(4). DOI: 10.1002/ajhb.22966.
9. Kuang Y.X., Cheng H., Zheng Y.Y. et al. Comparison on Performance of Quantitative Ultrasound and Dual-Energy X-ray Absorptiometry in Evaluating Bone Health of Adults Aged 18-40 Years. *Zhongguo Yi Xue Ke Xue Yuan Xue Bao*. 2023;45(5):737–742. Chinese. DOI: 10.3881/j.issn.1000-503X.15695.
10. Rüeger E., Hutmacher N., Eichelberger P., Löcherbach C., Albrecht S., Romann M. Ultrasound Imaging-Based Methods for Assessing Biological Maturity during Adolescence and Possible Application in Youth Sport: A Scoping Review. *Children (Basel)*. 2022;9(12):1985. DOI: 10.3390/children9121985.
11. Щербakov А.А., Штина И.Е., Устинова О.Ю., Эйфельд Д.А. Распространенность снижения минеральной плотности костной ткани у учащихся общеобразовательных школ. В сборнике: *Анализ риска здоровью — 2021. Внешнесредовые, социальные, медицинские и поведенческие аспекты. Совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2021. Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Пермь; 2021:271–276.
12. Положаева И.В., Алиякпаров М.Т. Актуальность проблемы остеопороза в молодом возрасте и его ранней современной диагностики. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018;2:115–120.
13. Солдатов А.И., Сергеев К.В. Ультразвуковой прибор для диагностики остеопороза. *Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции*. 2022;1(1):100–102.
14. Иманалиева Ф.Э., Тагаев Т.Ж., Маришбек Э.М., Маматов С.М. Минеральная плотность костной ткани по данным ультразвуковой денситометрии у лиц разных возрастных групп населения Кыргызской республики. *Клиническая геронтология*. 2022;28(5-6):63–68. DOI: 10.26347/1607-2499202205-06063-068.
15. Иманалиева Ф.Э., Маматов С.М., Арстанбекова М.А. Диагностика остеопороза в разных возрастных группах населения города Бишкек с использованием ультразвуковой денситометрии. *Клиническая геронтология*. 2020;26(3-4):16–20. DOI: 10.26347/1607-2499202003-04016-020.
16. Tho NHT, Tran, Lawrence H. Le, Dean Ta. Analysis of Ultrasonic Guided Wave Propagation in Multilayered Bone Structure With Varying Soft-Tissue Thickness in View of Cortical Bone Characterization. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control*. 2022;69(1):147–155. DOI: 10.1109/TUFFC.2021.3112621.
17. Kay Raum, Pascal Laugier. Clinical Devices for Bone Assessment. *Adv Exp Med Biol*. 2022;1364:35–53. DOI: 10.1007/978-3-030-91979-5_3.
18. Nicolas Bochud, Pascal Laugier. Axial Transmission: Techniques, Devices and Clinical Results. *Adv Exp Med Biol*. 2022;1364:55–94. DOI: 10.1007/978-3-030-91979-5_4.
19. Марушко Ю.В., Волоха Т.И., Асонов А.О. Ультразвуковая денситометрия (аксиальное измерение) в диагностике остеопенического синдрома у детей с разной соматической патологией. *Современная педиатрия*. 2016;1(73):54–58.
20. Крутикова Н.Ю., Виноградова А.Г., Юденкова О.А. и др. История внедрения диагностических методов определения нарушения прочности кости. *Вестник Смоленской государственной медицинской академии*. 2018;17(4):146–150.
21. Крутикова Н.Ю., Рябухин Ю.В. Современная диагностика нарушений формирования кости у новорожденных и детей

- раннего возраста с помощью ультрасонометрии на педиатрическом участке (методические рекомендации). Остеопороз и остеопатии. 2015;18(2):33–35. DOI: 10.14341/osteo2015233-35.
22. Мерзлякова Д.Р., Хафизова Н.Р., Вахитова Г.А. и др. Прочность костной ткани по результатам ультразвуковой денситометрии у детей, рожденных после проведения экстракорпорального оплодотворения (ЭКО) с массой тела менее 1500 г. РМЖ. Мать и дитя. 2023;6(1):34–38. DOI: 10.32364/2618-8430-2023-6-1-34-38.
 23. Бусурин В.И., Кудрявцев П.С. Применение метода ультразвуковой остеометрии для скрининг-диагностики и мониторинга эффективности терапии остеопороза. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2022;67(5):75–79.
 24. Мальцев С.В., Мансурова Г.Ш., Колесниченко Т.В., Зотов Н.А. Минеральная плотность кости у детей в разные возрастные периоды. Практическая медицина. 2013;6(75):106–108.
 25. Tarrell A., Grinsell M., Murray M., Lewis K.W., Yoder B.A., Jenkins S.M. Tibial quantitative ultrasound compared to dual-energy X-ray absorptiometry in preterm infants. J Perinatol. 2023;43(5):642–646. DOI: 10.1038/s41372-022-01588-y.
 26. Lageweg CMT., van der Putten M.E., van Goudoever J.B., Feuth T., Gotthardt M., van Heijst AFJ., Christmann V. Evaluation of bone mineralization in former preterm born children: Phalangeal quantitative ultrasound cannot replace dual-energy X-ray absorptiometry. Bone Rep. 2018;8:38–45. DOI: 10.1016/j.bonr.2018.01.004.
 27. Liu Y., Ouyang L., Wu W. et al. Validation of an established TW3 artificial intelligence bone age assessment system: a prospective, multicenter, confirmatory study. Quant Imaging Med Surg. 2024;14(1):144–159. DOI: 10.21037/qims-23-715.
 - with cystic fibrosis: dynamics of indicators over 15 years]. Arkhiv pediatrii i detskoy khirurgii. 2023;1(1):31–40. DOI: 10.31146/2949-4664-apps-1-1-31-40. (in Russian).
 5. Novikova V.P., Kuz'mina D.A., Guzeyeva O.D. Khronicheskiy gastrit i patologiya kostnoy tkani u detey. [Chronic gastritis and bone tissue pathology in children]. Vrach-aspirant. 2011;47(4.1):248–254. (in Russian).
 6. Maslova N.A., Zvonkova N.G., Borovik T.E. i dr. Izmeneniya metabolizma kostnoy tkani pri detskom tserebral'nom paralichе. [Changes in bone tissue metabolism in cerebral palsy]. Rossiyskiy pediatricheskiy zhurnal. 2022;25(2):76–83. DOI: 10.46563/1560-9561-2022-25-2-76-83. (in Russian).
 7. Bavykina I.A., Lednova V.S., Bavykin D.V. i dr. Fizicheskoye razvitiye i mineral'naya plotnost' kostnoy tkani detey s vospalitel'nymi zabolevaniyami kishechnika. [Physical development and mineral density of bone tissue in children with inflammatory bowel diseases]. Meditsinskiy alfavit. 2023;(34):16–19. DOI: 10.33667/2078-5631-2023-34-16-19. (in Russian).
 8. Utczas K., Muzsnai A., Cameron N. et al. A comparison of skeletal maturity assessed by radiological and ultrasonic methods. Am J Hum Biol. 2017;29(4). DOI: 10.1002/ajhb.22966.
 9. Kuang Y.X., Cheng H., Zheng Y.Y. et al. Comparison on Performance of Quantitative Ultrasound and Dual-Energy X-ray Absorptiometry in Evaluating Bone Health of Adults Aged 18-40 Years. Zhongguo Yi Xue Ke Xue Yuan Xue Bao. 2023;45(5):737–742. Chinese. DOI: 10.3881/j.issn.1000-503X.15695.
 10. Rüeger E., Hutmacher N., Eichelberger P., Löcherbach C., Albrecht S., Romann M. Ultrasound Imaging-Based Methods for Assessing Biological Maturity during Adolescence and Possible Application in Youth Sport: A Scoping Review. Children (Basel). 2022;9(12):1985. DOI: 10.3390/children9121985.
 11. Shcherbakov A.A., Shtina I.Ye., Ustinova O.Yu., Eysfel'd D.A. Rasprostranennost' snizheniya mineral'noy plotnosti kostnoy tkani u uchashchikhsya obshcheobrazovatel'nykh shkol. [Prevalence of decreased bone mineral density in secondary school students]. V sbornike: Analiz riska zdorov'yu — 2021. Vneshnesredovyye, sotsial'nyye, meditsinskiye i povedencheskiye aspekty. Sovmestno s mezhdunarodnoy vstrechey po okruzhayushchey srede i zdorov'yu RISE-2021. Materialy XI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Perm'; 2021: 271–276. (in Russian).
 12. Polozhayeva I.V., Aliyapkarov M.T. Aktual'nost' problemy osteoporoza v molodom vozraste i yego ranney sovremennoy diagnostiki. [The relevance of the problem of osteoporosis at a young age and its early modern diagnosis]. Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2018;2:115–120. (in Russian).
 13. Soldatov A.I., Sergeyev K.V. Ul'trazvukovoy pribor dlya diagnostiki osteoporoza. Elektronnyye sredstva i sistemy uprav-

REFERENCES

1. Kondrat'yeva Ye.I., Sutovskaya D.V., Zobenko V.Ya. i dr. Sostoyaniye mineral'noy plotnosti kostnoy tkani u shkol'nikov goroda Krasnodara. [The state of mineral density of bone tissue in schoolchildren of the city of Krasnodar]. Sibirskiy meditsinskiy zhurnal. Tomsk: 2011;26(4-2):231–236. (in Russian).
2. Zhekayte Ye.K., Kondrat'yeva Ye.I., Loshkova Ye.V. i dr. Snizheniye mineral'noy plotnosti kosti u detey. [Decrease in bone mineral density in children]. Voprosy prakticheskoy pediatrii. 2023;18(1):111–123. DOI: 10.20953/1817-7646-2023-1-111-123. (in Russian).
3. Coheley L.M., Lewis R.D. Dietary Patterns and Pediatric Bone. Curr Osteoporos Rep. 2021;19(1):107–114. DOI: 10.1007/s11914-020-00654-8.
4. Zhekayte Ye.K., Maksimychева T.Yu. Snizheniye mineral'noy plotnosti u detey s mukovistsidozom: dinamika pokazateley za 15 let. [Decrease in mineral density in children

- leniya. [Ultrasound device for diagnosing osteoporosis]. *Materialy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. 2022;1(1):100–102. (in Russian).
14. Imanaliyeva F.E., Tagayev T.Zh., Marishbek E.M., Mamatov S.M. Mineral'naya plotnost' kostnoy tkani po dannym ul'trazvukovoy densitometrii u lits raznykh vozrastnykh grupp naseleniya Kyrgyzskoy respubliki. [Mineral density of bone tissue according to ultrasound densitometry in individuals of different age groups of the population of the Kyrgyz Republic]. *Klinicheskaya gerontologiya*. 2022;28(5-6):63–68. DOI: 10.26347/1607-2499202205-06063-068. (in Russian).
 15. Imanaliyeva F.E., Mamatov S.M., Arstanbekova M.A. Diagnostika osteoporoza v raznykh vozrastnykh gruppakh naseleniya goroda Bishkek s ispol'zovaniyem ul'trazvukovoy densitometrii. [Diagnosis of osteoporosis in different age groups of the population of Bishkek using ultrasound densitometry]. *Klinicheskaya gerontologiya*. 2020;26(3-4):16–20 DOI: 10.26347/1607-2499202003-04016-020. (in Russian).
 16. Tho NHT. Tran, Lawrence H. Le, Dean Ta. Analysis of Ultrasonic Guided Wave Propagation in Multilayered Bone Structure With Varying Soft-Tissue Thickness in View of Cortical Bone Characterization. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control*. 2022;69(1):147–155. DOI: 10.1109/TUFFC.2021.3112621.
 17. Kay Raum, Pascal Laugier. Clinical Devices for Bone Assessment. *Adv Exp Med Biol*. 2022;1364:35–53. DOI: 10.1007/978-3-030-91979-5_3.
 18. Nicolas Bochud, Pascal Laugier. Axial Transmission: Techniques, Devices and Clinical Results. *Adv Exp Med Biol*. 2022;1364:55–94. DOI: 10.1007/978-3-030-91979-5_4.
 19. Marushko Yu.V., Volokha T.I., Asonov A.O. Ul'trazvukovaya densitometriya (aksial'noye izmereniye) v diagnostike osteopenicheskogo sindroma u detey s raznoy somaticheskoy patologiyey. [Ultrasound densitometry (axial measurement) in the diagnosis of osteopenic syndrome in children with various somatic pathologies]. *Sovremennaya pediatriya*. 2016;1(73):54–58. (in Russian).
 20. Krutikova N.Yu., Vinogradova A.G., Yudenkova O.A. i dr. Istoriya vnedreniya diagnosticheskikh metodov opredeleniya narusheniya prochnosti kosti. [History of the introduction of diagnostic methods for determining impaired bone strength]. *Vestnik Smolenskoy gosudarstvennoy meditsinskoy akademii*. 2018;17(4):146–150. (in Russian).
 21. Krutikova N.Yu., Ryabukhin Yu.V. Sovremennaya diagnostika narusheniy formirovaniya kosti u novorozhdennykh i detey rannego vozrasta s pomoshch'yu ul'trasonometrii na pediatricheskom uchastke (metodicheskiye rekomendatsii). [Modern diagnosis of bone formation disorders in newborns and young children using ultrasonometry in the pediatric area (methodological recommendations)]. *Osteoporoz i osteopatii*. 2015;18(2):33–35. DOI: 10.14341/osteo2015233-35. (in Russian).
 22. Merzlyakova D.R., Khafizova N.R., Vakhitova G.A. i dr. Prochnost' kostnoy tkani po rezul'tatam ul'trazvukovoy densitometrii u detey, rozhdennykh posle provedeniya ekstrakorporal'nogo oplodotvoreniya (EKO) s massoy tela meneye 1500 g. [Strength of bone tissue according to the results of ultrasound densitometry in children born after in vitro fertilization (IVF) with a body weight of less than 1500 g.]. *RMZH. Mat' i ditya*. 2023;6(1):34–38. DOI: 10.32364/2618-8430-2023-6-1-34-38. (in Russian).
 23. Busurin V.I., Kudryavtsev P.S. Primeneniye metoda ul'trazvukovoy osteometrii dlya skrining-diagnosticski i monitoringa effektivnosti terapii osteoporoza. [Application of the ultrasound osteometry method for screening diagnostics and monitoring the effectiveness of osteoporosis therapy]. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost'*. 2022;67(5):75–79. (in Russian).
 24. Mal'tsev S.V., Mansurova G.Sh., Kolesnichenko T.V., Zotov N.A. Mineral'naya plotnost' kosti u detey v raznyye vozrastnyye periody. [Bone mineral density in children at different ages]. *Prakticheskaya meditsina*. 2013;6(75):106–108. (in Russian).
 25. Tarrell A., Grinsell M., Murray M., Lewis K.W., Yoder B.A., Jenkins S.M. Tibial quantitative ultrasound compared to dual-energy X-ray absorptiometry in preterm infants. *J Perinatol*. 2023;43(5):642–646. DOI: 10.1038/s41372-022-01588-y.
 26. Lageweg CMT., van der Putten M.E., van Goudoever J.B., Feuth T., Gotthardt M., van Heijst AFJ., Christmann V. Evaluation of bone mineralization in former preterm born children: Phalangeal quantitative ultrasound cannot replace dual-energy X-ray absorptiometry. *Bone Rep*. 2018;8:38–45. <https://doi.org/10.1016/j.bonr.2018.01.004>.
 27. Liu Y., Ouyang L., Wu W. et al. Validation of an established TW3 artificial intelligence bone age assessment system: a prospective, multicenter, confirmatory study. *Quant Imaging Med Surg*. 2024; 14(1):144–159. <https://doi.org/10.21037/qims-23-715>.