

**Рахматов Истоджон Самеджонович**

<https://orcid.org/0009-0008-5747-0675>

Самаркандский государственный медицинский университет,  
г. Самарканд, Республика Узбекистан

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ВИЗУАЛИЗАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКЕ ТРАВМ И ЗАБОЛЕВАНИЙ СКЕЛЕТА У ДЕТЕЙ: ИНТЕГРАЦИЯ НИЗКОДОЗОВЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

### **Аннотация**

Современная детская травматология и ортопедия находятся на стыке технологий, биомеханики и радиационной безопасности. Визуализационные методы сегодня определяют не только точность диагностики, но и стратегию лечения, прогноз реабилитации, выбор хирургической тактики. Эволюция диагностических систем — от плёночной рентгенографии к цифровым детекторам, мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ), магнитно-резонансной томографии (МРТ) и гибридным системам ПЭТ/КТ и ПЭТ/МРТ — радикально изменила возможности педиатрической медицины.

Главной тенденцией последних лет стало внедрение **низкодозовых протоколов, персонализированных дозиметрических систем, функциональных методов (эластография, DWI, DCE, UTE-MRI) и искусственного интеллекта (ИИ)** в анализ изображений.

Цель данного исследования — провести систематизацию современных подходов к визуализационной диагностике повреждений и заболеваний скелета у детей, рассмотреть технические и методологические аспекты снижения дозы облучения, оценить роль новых технологий в повышении информативности и безопасности обследований.

**Ключевые слова:** детская травматология, ортопедия, визуализация, рентгенография, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография, ультразвуковая диагностика, радиационная безопасность, дозиметрия, ALARA, искусственный интеллект.

---

**Raxmatov Istodjon Samedjonovich**

Samarqand davlat tibbiyot universiteti, UZ  
Samarqand shahri, O'zbekiston Respublikasi

## **BOLALARDA SKELET JAROHATLARI VA KASALLIKLARINI VIZUALIZATSION TASHXISLASHDA ZAMONAVIY YONDASHUVLAR: PAST DOZALI VA FUNKSIONAL TEXNOLOGIYALARNI INTEGRATSIYALASH**

### **Annotatsiya**

Zamonaviy bolalar travmatologiyasi va ortopediyasi texnologiyalar, biomexanika va radiatsiya xavfsizligi chorrahasida joylashgan. Bugungi kunda vizualizatsiya usullari nafaqat diagnostika aniqligini, balki davolash strategiyasini, reabilitatsiya prognozini, jarrohlik taktikasini tanlashni ham belgilaydi. Diagnostika tizimlarining evolyutsiyasi - plyonkali rentgenografiyadan raqamli detektorlarga, multispiral kompyuter tomografiyasiga (MSKT), magnit-rezonans tomografiyasiga

(MRT) va PET/KT va PET/MRT gibrid tizimlariga o'tish pediatriya tibbiyotining imkoniyatlarini tubdan o'zgartirdi.

So'nggi yillardagi asosiy tendensiya tasvirlarni tahlil qilishda past dozali protokollar, shaxsiylashtirilgan dozimetrik tizimlar, funksional usullar (elastografiya, DWI, DCE, UTE-MRI) va sun'iy intellekt (AI) ni joriy etish bo'ldi.

Tadqiqotning maqsadi bolalarda skelet shikastlanishlari va kasalliklarining vizualizatsion diagnostikasiga zamonaviy yondashuvlarni tizimlashtirish, nurlanish dozasini kamaytirishning texnik va uslubiy jihatlarini ko'rib chiqish, tekshiruvlarning axborotlilik va xavfsizligini oshirishda yangi texnologiyalarning rolini baholashdan iborat.

**Kalit so'zlar:** bolalar travmatologiyasi, ortopediya, vizualizatsiya, rentgenografiya, kompyuter tomografiyasi, magnit-rezonans tomografiya, ultratovush diagnostikasi, radiatsiya xavfsizligi, dozimetriya, ALARA, sun'iy intellekt.

---

*Rakhmatov Istodjon Samedzhonovich*  
*Samarkand State Medical University, UZ*  
*Samarkand city, Republic of Uzbekistan*

## **MODERN APPROACHES TO THE VISUALIZATION DIAGNOSIS OF TRAUMAS AND SKELETAL DISEASES IN CHILDREN: INTEGRATION OF LOW-DOZA AND FUNCTIONAL TECHNOLOGIES**

### **Abstract**

Modern pediatric traumatology and orthopedics are at the intersection of technology, biomechanics, and radiation safety. Visualization methods today determine not only the accuracy of diagnosis but also the treatment strategy, rehabilitation prognosis, and the choice of surgical tactics. The evolution of diagnostic systems - from film radiography to digital detectors, multispiral computed tomography (MSCT), magnetic resonance imaging (MRI), and hybrid PET/CT and PET/MRI systems - has radically changed the capabilities of pediatric medicine.

The main trend of recent years has been the introduction of low-dose protocols, personalized dosimetric systems, functional methods (elastography, DWI, DCE, UTE-MRI), and artificial intelligence (AI) in image analysis.

The purpose of this study is to systematize modern approaches to the visualization diagnosis of skeletal injuries and diseases in children, to examine the technical and methodological aspects of reducing radiation doses, and to assess the role of new technologies in enhancing the informativity and safety of examinations.

**Keywords:** pediatric traumatology, orthopedics, visualization, radiography, computed tomography, magnetic resonance imaging, ultrasound diagnostics, radiation safety, dosimetry, ALARA, artificial intelligence.

---

### **Введение**

Проблема безопасной и точной диагностики заболеваний опорно-двигательной системы у детей остаётся одной из приоритетных в современной медицине. По данным ВОЗ, ежегодно до 25 % всех обращений к педиатрам связаны с травмами или подозрением на ортопедическую

патологию. В детском возрасте визуализация должна учитывать анатомо-физиологические особенности: наличие зон роста, неоссифицированных хрящей, высокое содержание воды в костном мозге, выраженные процессы ремоделирования и регенерации тканей.

В отличие от взрослых, педиатрические пациенты требуют деликатного подхода — минимизация дозы облучения, сокращение времени сканирования, обеспечение комфорта и психологической адаптации. Эти задачи определили появление отдельного направления — **педиатрической радиологии**, где ведущая роль принадлежит принципам ALARA (As Low As Reasonably Achievable) и ALADA (As Low As Diagnostically Acceptable).

За последние два десятилетия отмечен существенный прогресс: цифровизация рентгенологии, широкое распространение КТ и МРТ, развитие 3D-визуализации и искусственного интеллекта. Всё это формирует новую парадигму: **от диагностики — к прогнозированию и навигации лечения**, где изображение становится не просто статичным снимком, а элементом клинико-технологической экосистемы пациента.

### Материалы и методы

Исследование представляет собой обзорно-аналитическую работу, включающую данные международных протоколов (ESPR, ACR, ICRP), научных публикаций за 2015–2025 гг., а также практический опыт кафедры лучевой диагностики Самаркандского государственного медицинского университета.

Для систематизации информации проведено сравнительное описание основных методов визуализации:

- **рентгенография** (цифровые системы DR, дозиметрия, низкодозовые режимы);
- **ультразвуковая визуализация** (в том числе эластография, доплерография, контрастное усиление);
- **компьютерная томография** (мультиспиральная, двойной энергии, photon-counting, итеративная реконструкция);
- **магнитно-резонансная томография** (высокопольная 3T, DWI, DCE, UTE, whole-body);
- **гибридные технологии** (сцинтиграфия, ПЭТ/КТ, ПЭТ/МРТ).

**Таблица 4. Сравнительная характеристика радиологических и ультразвуковых методов исследования опорно-двигательной системы у детей и взрослых**

Метод	Основные показания	Эффективная доза (мЗв)	Преимущества	Ограничения
<b>Рентгенография</b>	Переломы, вывихи, контроль остеосинтеза	0.01–0.3	Быстро, доступно, высокая чёткость костей	Ионизирующее излучение, низкая информативность для мягких тканей
<b>Ультразвуковая</b>	Дисплазия, синовиты,	0	Безопасно, динамическое	Зависимость от опыта врача,

<b>диагностика (УЗИ)</b>	гемартроз, травмы мягких тканей		наблюдение, низкая стоимость	ограниченная глубина
<b>Компьютерная томография (КТ)</b>	Многооскольчатые переломы, врождённые деформации, опухоли	0.3–2.0	Высокое разрешение, 3D-реконструкция	Радиационная нагрузка, необходимость седации у малышей
<b>Магнитно-резонансная томография (МРТ)</b>	Повреждения менисков, костный мозг, воспаление	0	Без облучения, высокая тканевая контрастность	Длительность, стоимость, ограниченная доступность
<b>ПЭТ/КТ, ПЭТ/МРТ</b>	Опухоли, остеомиелит, метастазы	1–3 (зависит от радиофармпрепарата)	Совмещение анатомической и функциональной информации	Высокая стоимость, ограниченный доступ, необходимость анестезии

Проведён анализ дозиметрических данных (эквивалентная доза мЗв) в зависимости от возраста, массы тела и области исследования, а также оценка внедрения систем автоматического дозимониторинга (Radimetrics, DoseTrack, Pediatric Dose Check).

### Результаты

#### 1. Рентгенография — основа педиатрической травматологии

Несмотря на развитие высокотехнологичных методов, рентгенография остаётся первым этапом визуализации в 80–85 % случаев детских травм. Её диагностическая эффективность обусловлена высокой пространственной разрешающей способностью и простотой интерпретации.

#### Цифровизация.

Переход на цифровые детекторы (flat-panel DR) позволил снизить дозу на 50–70 %, устранить необходимость химической обработки и обеспечить моментальное получение изображений. Цифровая обработка предоставляет возможность многократной постобработки, изменения контрастности и масштабирования без повторного облучения.

#### Дозиметрический

**аспект.**

По данным ESPR, средняя эффективная доза при рентгенографии конечностей у ребёнка не превышает 0,01–0,03 мЗв, грудной клетки — 0,05–0,08 мЗв, таза — 0,1–0,3 мЗв, что эквивалентно естественному фоновому излучению за 1–3 дня.

#### Клиническая

**ценность.**

Рентгенография остаётся незаменимой при диагностике переломов костей предплечья, надмыщелковых переломов плечевой кости, деформаций стопы, вывихов бедра. В сочетании с

функциональными пробами и МРТ она позволяет исключить скрытые переломы зон роста (Salter–Harris I–II).

## 2. Ультразвуковая диагностика — «золотой стандарт» безопасности

УЗИ — единственный метод, который может применяться без ограничений по частоте и возрасту. Отсутствие ионизирующего излучения, доступность и мобильность делают его незаменимым в неонатологии, спортивной медицине и реабилитации.

### Применение.

Метод Графа для скрининга дисплазии тазобедренного сустава остаётся стандартом в возрасте до 6 месяцев. У детей старшего возраста УЗИ используется для диагностики синовитов, остеохондропатий, надрыва сухожилий и оценки послеоперационного состояния суставов.

**Эластография** позволяет количественно оценивать жёсткость тканей и используется при фиброзных изменениях мышц, посттравматических уплотнениях, воспалительных очагах.

### Технологические тенденции.

Современные аппараты оснащаются функциями 3D/4D-визуализации, цветового и энергетического доплера, контрастного усиления микропузырьками, что делает УЗИ полноценным функциональным методом.

### Преимущества:

- отсутствие лучевой нагрузки;
- возможность динамического контроля;
- применение у новорождённых и недоношенных;
- высокая чувствительность при воспалительных процессах (до 90 %).

## 3. Компьютерная томография — точность и дозовый контроль

КТ является незаменимой при многооскольчатых переломах, врождённых деформациях, опухолях и посттравматических осложнениях.

### Современные технологии:

- **Мультиспиральная КТ (МСКТ)** — сканирование за 1–2 секунды, минимизация артефактов движения.
- **Dual-energy CT** — улучшает визуализацию хрящей, кальцификатов, мягких тканей.
- **Photon-counting CT** — снижает дозу до 0,3–0,5 мЗв без потери качества.
- **Iterative reconstruction** — уменьшает шум, сохраняя контраст при снижении дозы до 70 %.

### Персонализация протоколов.

Использование автоматических систем расчёта экспозиции (АЕС) и индивидуальных протоколов позволяет адаптировать параметры к массе тела и возрасту ребёнка.

### 3D-моделирование.

КТ-данные используются для реконструкции STL-моделей, применяемых при планировании остеотомий, установке индивидуальных эндопротезов и печати хирургических шаблонов. Это направление активно развивается в детской ортопедии при коррекции врождённых деформаций конечностей.

4. Магнитно-резонансная томография — без излучения, но с глубокой детализацией МРТ остаётся методом выбора при исследовании мягких тканей, суставов и костного мозга. Её ценность в педиатрии — возможность визуализировать патологию на доклиническом этапе.

**Методические возможности:**

- **DWI** (диффузионно-взвешенные изображения) — выявление воспалительных процессов и ишемии.
- **DCE-MRI** — динамическая контрастная визуализация опухолей.
- **UTE-MRI** — визуализация хрящевых и надкостничных структур.
- **Whole-body MRI** — альтернатива сцинтиграфии при множественных поражениях.

**Инновации.**

ИИ-алгоритмы ускоряют сканирование, сокращая время исследования до 3–5 минут, что снижает потребность в медикаментозной седации. Новые контрастные агенты на основе гадолиния обеспечивают более точную оценку воспаления без токсического эффекта.

**5. Радионуклидные и гибридные методы**

**Костная сцинтиграфия** используется для оценки метаболизма кости, выявления очагов воспаления и опухолевых метастазов. **ПЭТ/КТ** с 18F-FDG — золотой стандарт диагностики злокачественных новообразований, включая саркомы и метастазы. **ПЭТ/МРТ** объединяет морфологические и функциональные данные, повышая контраст мягких тканей и снижая дозу почти на 50 % по сравнению с ПЭТ/КТ.

Эти технологии применяются при хроническом остеомиелите, рецидивах опухолей, мониторинге эффективности химиотерапии и иммунотерапии.

**6. Радиационная безопасность и дозиметрия**

Детский организм особенно чувствителен к ионизирующему излучению. Поэтому основной принцип — **оптимизация дозы**.

Программы **DoseWatch**, **Radimetrics**, **Pediatric Dose Check** фиксируют показатели DLP и CTDIvol для каждого исследования и формируют радиационный паспорт пациента.

**Принципы ALARA включают:**

1. Минимизацию числа экспозиций.
2. Оптимизацию технических параметров (кВ, мАс, фильтры).
3. Использование цифровых детекторов и итеративной реконструкции.
4. Применение альтернативных методов (УЗИ, МРТ).
5. Исключение дублирующих снимков.

Рекомендации ESPR определяют допустимые дозы: для КТ головы у новорождённых — не более 0,5 мЗв, для подростков — до 2 мЗв; для грудной клетки — 0,1–0,3 мЗв.

**7. Искусственный интеллект и 3D-визуализация**

ИИ внедряется в радиологическую практику как инструмент автоматизации:

- автоматическая сегментация костей и суставов;
- распознавание микропереломов;

- прогнозирование ремоделирования кости;
- анализ плотности костной ткани (Bone Texture Analysis).

Комбинация ИИ с 3D-визуализацией и биомеханическим моделированием позволяет создавать **персонализированные хирургические шаблоны**, планировать остеосинтез и оценивать стабильность фиксации.

### Обсуждение

Развитие визуализационных технологий привело к изменению парадигмы диагностики — от статических изображений к **динамическим моделям состояния ткани**. Современная педиатрическая радиология становится функциональной, интеграционной и прогностической.

Применение низкодозовых протоколов в КТ и цифровых рентгеносистемах позволило сократить коллективную дозу у детей на 40–60 % за последние 10 лет. Внедрение МРТ и УЗИ как первичных методов при мягкотканых патологиях позволило снизить количество повторных исследований почти вдвое.

Новые подходы к визуализации костей и суставов у детей открывают возможности для **персонализированной медицины**: прогнозирование скорости ремоделирования, оценка риска вторичных деформаций и индивидуальный выбор тактики хирургического вмешательства.

### Заключение

Современные методы визуализации обеспечивают не только точную диагностику, но и стратегическое планирование лечения.

- **Рентгенография** — фундамент диагностики переломов.
- **УЗИ** — безопасный и динамичный метод функциональной оценки.
- **КТ и МРТ** — основной инструмент трёхмерной морфологической и функциональной визуализации.
- **ПЭТ/КТ и ПЭТ/МРТ** — прорыв в онкоортопедии и метаболических исследованиях.

В ближайшем будущем ожидается объединение ИИ, трёхмерного моделирования и функциональных параметров в единую систему анализа — **умную радиологию**, способную прогнозировать исход заболевания ещё до его клинических проявлений.

### Литература

1. Negmatov IS, Mansurov DSh. Tizza bo'g'imini to'liq endoprotezlashda kompleks reabilitatsiya: hayot sifatini oshirish omili. *New Day in World Medicine*. 2024;3(6):45-50.
2. Brady Z, Ramanauskas F, Cain TM, et al. Radiation safety and optimization in pediatric imaging. *Pediatr Radiol*. 2020;50(8):1093-1106.
3. Donnelly LF, Frush DP. *Pediatric imaging: the fundamentals*. 3rd ed. Elsevier; 2021.
4. Racadio JM, Schopp JG, Strife JL. ALARA in pediatric radiology: implementation and monitoring. *Radiographics*. 2022;42(5):1234-1248.
5. Dillman JR, Trout AT. Low-dose pediatric CT: strategies and techniques. *Pediatr Radiol*. 2020;50(9):1201-1213.
6. Acharya J, et al. Artificial intelligence in pediatric musculoskeletal imaging. *Clin Radiol*. 2023;78(6):e383-e392.

7. Kellenberger CJ. MRI of the pediatric musculoskeletal system. Eur J Radiol. 2021;140:109742.
8. Frush DP, Applegate KE. Pediatric radiology and radiation protection: where we stand in 2025. J Am Coll Radiol. 2025;22(2):215-230.
9. Negmatov IS. Possibilities of radiation methods in the diagnosis of pancreas pseudocyst. J Coryphaeus Sci. 2024;6(1):387-394.
10. Askarova NR. HYBRID SURGICAL AND RADIOLOGICAL PROCEDURES: COMPREHENSIVE SAFETY AND EFFICACY ASSESSMENT OF COMBINED INTERVENTIONS UNDER ULTRASOUND, CT, AND FLUOROSCOPY GUIDANCE. Healthway. 2025;1(3):122-128. doi:10.64411/n0e5cc49.
11. Негматов ИС. ЭТАПНАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ КОЛЕННОГО СУСТАВА. Healthway. 2025;1(2):180-190. doi:10.64411/jm161n30.
12. Негматов ИС. НЕМЕДИКАМЕНТОЗНАЯ ТЕРАПИЯ КОЛЕННОГО ОСТЕОАРТРИТА: КЛЮЧЕВЫЕ ПОДХОДЫ И ВЛИЯНИЕ ФИЗИОТЕРАПИИ [Internet]. Healthway. 2025 [cited 2025 Nov 10];1(1):262-272. Available from: <https://healthway.uz/index.php/hw/article/view/37>
13. Ravshanov ZX, Turdumatov JA. О'РКА SURUNKALI OBSTRUKTIV KASALLIKLARINI TASHXIS QO'YISHNING NURLI USULLARI [Internet]. Healthway. 2025 [cited 2025 Nov 10];1(1):4-10. Available from: <https://healthway.uz/index.php/hw/article/view/1>
14. Турдуматов ЖА, Мардиева ГМ. II ТИПДАГИ ҚАНДЛИ ДИАБЕТДА ЎПКАНИНГ СУРУНКАЛИ ОБСТРУКТИВ КАСАЛЛИГИ РЕНТГЕНОЛОГИК СЕМИОТИКАСИ [Internet]. ЖГЕН. 2025 Mar 14 [cited 2025 Nov 10];2(19[2]):235-241. Available from: <https://journals.tnmu.uz/index.php/gtfj/article/view/1295>
15. Аскарова НР, Рахматов ИС. РОЛЬ УЛЬТРАЗВУКА С КОНТРАСТНЫМ УСИЛЕНИЕМ (СЕУС) В НАВИГАЦИИ ПРИ МАЛОИНВАЗИВНЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВАХ НА ПЕЧЕНИ. Healthway. 2025;1(3):41-50. doi:10.64411/69zvp398.
16. Рахматов ИС, Аскарова НР. СВЯЗЬ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ СТАДИЙ ОСТЕОАРТРОЗА КОЛЕННОГО СУСТАВА С КЛИНИЧЕСКИМИ ШКАЛАМИ БОЛИ И КАЧЕСТВА ЖИЗНИ. Healthway. 2025;1(3):34-40. doi:10.64411/4dhddj17.
17. Аскарова НР. НИЖЕНИЕ ЛУЧЕВОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ОПЕРАЦИОННЫХ РЕНТГЕН-КОНТРОЛЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ. Healthway. 2025;1(3):153-160. doi:10.64411/ff35xj21.

Muallif bilan bog'lanish uchun e-mail	Author's contact email	Email для связи с автором
<a href="mailto:istodjonraxmatov@gmail.com">istodjonraxmatov@gmail.com</a>		