



ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В АНАЛИЗ ТРЕХМЕРНЫХ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Хамдамов Нурмухаммад

Thompson International School, 10-й класс «А»

<https://doi.org/10.5281/zenodo.21977648>

ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 13-avgust 2026 yil
Ma'qullandi: 15-avgust 2026 yil
Nashr qilindi: 17-avgust 2026 yil

KEYWORDS

искусственный интеллект,
интеграция, трехмерные
рентгенологические
исследования, рентген,
исследование, патологии,
объект, КТ, КЛКТ, МРТ,
ошибки, 3D-изображение, 3D-
рентгенология, 3D-методы,
3D-сканирование, 2D,
визуализация, объем,
интерпретация,
диагностика, изображение,
анализ.

ABSTRACT

В статье рассматривается интеграция искусственного интеллекта (ИИ) в анализ трехмерных рентгенологических исследований, как этот процесс работает и используется в практике. В работе также рассматриваются базовые принципы трехмерной рентгенологии, механизмы интеграции искусственного интеллекта и его практическая ценность для клинической диагностики. Показано что применение ИИ повышает точность и скорость интерпретации 3D-изображений, снижая диагностические ошибки.

Введение

Для начала я бы хотел дать общее представление и понятие о том что такое 3D-рентгенологии. Трехмерная (3D) рентгенология и медицинская визуализация это золотой стандарт для точной оценки анатомии, диагностики патологий и планирования сложных хирургических операций.

3D-визуализация и компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ): 3D-реконструкции позволяют получить объемные изображения исследуемых зон. Современные методы, такие как высокоускоренная 3D МРТ и мультипланарная КТ, значительно улучшили качество пространственного разрешения что необходимо в кардиологии, неврологии и пульмонологии.

3D-моделирование и планирования: Объемные 3D-модели улучшают понимание пространственной анатомии, что критически важно в ортопедии (например, при сколиозе), черепно-лицевой хирургии и пластической хирургии.

Диагностическая точность: Поверхностное 3D-сканирование применяется для оценки результатов оперативных вмешательств и объективного лицевого анализа.

Также активно внедряются передовые методы 3D-визуализации, которые уже стали рутинным инструментом во многих клинических сферах.

Почему 3D-рентгенология-это важно? Существует ряд причин почему 3D-рентгенология это важно:

Повышение точности диагностики. Трехмерная рентгенологическая визуализация позволяет получить объемное изображение исследуемой области, что способствует более точному выявлению патологических изменений, включая кисты, воспалительные процессы, переломы и другие структурные нарушения.

Детальная оценка анатомических структур. Использование 3D-методов исследования обеспечивает более точное определение пространственного расположения костных тканей, зубов, нервных каналов и других анатомических образований, что имеет важное значение при диагностике и лечении.

Оптимизация планирования лечебных и хирургических вмешательств. Трехмерная визуализация позволяет врачу заранее оценить особенности анатомии пациента, определить потенциальные риски и выбрать и наиболее эффективную тактику лечения или оперативного вмешательства.

Снижение вероятности диагностических ошибок. По сравнению с традиционной двухмерной рентгенографией, 3D-рентгенологические методы уменьшают вероятность наложения анатомических структур, что повышает достоверность интерпретации результатов исследования.

Контроль динамики патологических процессов и эффективности лечения. Трехмерные исследования позволяют проводить сравнительный анализ состояния тканей до и после лечения, что способствует объективной оценке результатов терапии.

Высокая значимость в стоматологической практике. В стоматологии трехмерная рентгенологическая диагностика, в частности конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ), широко применяется при имплантологическом, ортодонтическом и хирургическом планировании.

Различия между 2D и 3D рентгенологией заключается в объемной визуализации и точности диагностики. В то время как 2D дает плоское изображение (например, рентгенография), 3D (КТ, МРТ, КЛКТ) позволяет исследовать ткани по трем плоскостям, что радикально меняет клинический подход. Ключевые отличия:

Точность и детализация: 3D-визуализация обеспечивает превосходную диагностическую точность и разрешение, устраняя наложение анатомических структур, что часто случается на 2D-снимках.

Оценка размера: Трехмерный анализ очагов поражения (например, новообразований) позволяет измерять их объемы с меньшей погрешностью и вариабельностью.

Область применения: 3D-методы крайне эффективны для оценки состояния височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) и в стоматологии, где 3D- сканирование стало стандартом для выявления скрытых аномалий.

Интерпретация и измерения: Традиционные 2D-цефалометрические измерения могут отличаться от 3D-данных, при этом 3D-анализ мягких тканей и структуры дает более полное и достоверное представление об анатомии.

Несмотря на высокую диагностическую ценность, применение трехмерной рентгенологической визуализации сопровождается рядом проблем и ограничений:

Большой объем данных и сложность интерпретации. 3D-исследования (например, КТ/КЛКТ) создают множество срезов и объемных изображений, что требует значительного времени на анализ и высокой квалификации специалиста.

Риск диагностических ошибок из-за человеческого фактора. При большом количестве изображений врач может пропустить мелкие патологические изменения или неправильно интерпретировать структуру.

Лучевая нагрузка. Некоторые методы 3D-рентгенологической диагностики (например, КТ) связаны с воздействием ионизирующего излучения, поэтому важно соблюдать принцип обоснованности исследования.

Высокая стоимость оборудования и исследований. Томографические системы и программное обеспечение требуют значительных финансовых затрат.

Артефакты и качество изображения. Движение пациента, металлические конструкции (пломбы, брекеты, импланты) и технические ограничения могут ухудшать качество изображения и снижать точность диагностики.

Необходимость автоматизации анализа. Из-за сложности и большого объема данных возникает потребность в применении ИИ и алгоритмов автоматической сегментации/анализа для ускорения диагностики и снижения ошибок.

Как ИИ может помочь?

Искусственный интеллект трансформирует 3D-рентгенологию (КТ и МРТ), автоматизируя обработку объемных данных. Ключевые направления помощи ИИ для врачей и диагностов:

1. Автоматические сегментации: ИИ мгновенно выделяет границы органов, опухолей или анатомических структур в 3D-пространстве, сокращая время на ручное оконтуривание в разы.

2. Генерация заключений: Современные мультимодальные ИИ-модели способны интерпретировать объемные 3D-сканы и автоматически подготавливать первичные описания для радиологических отчетов.

3. Прогнозирование лечения: В таких сферах, как ортопедия и челюстно-лицевая хирургия, нейросети помогают смоделировать исход операции до ее начала.

4. Повышение точности: ИИ действует как "цифровой ассистент", выявляя микроструктурные изменения и снижая риск человеческой ошибки при анализе сотен срезов.

Основная часть

Для понимания механизмов интеграции ИИ в анализ 3D-рентгенологических исследований необходимо рассмотреть технологическую основу современных ИИ-

систем, применяемых в медицинской визуализации, а также конкретные области их клинического применения.

Технологическая основа ИИ в 3D-визуализации объединяет нейросети и продвинутый рендеринг для обработки, сегментации и генерации пространственных данных. В медицине этот подход ускоряет обработку сканов и повышает точность диагностики. Фундаментальные технологии включают:

Свёрточные нейросети (CNN): Оптимизированы для распознавания пространственных структур и автоматической сегментации органов на снимках КТ и МРТ.

Генеративные ИИ (Multimodal Generative AI): Адаптируют мультимодальные языково-видео модели для интерпретации сложных 3D-данных, объединяя текстовые описания с пространственными объектами.

Нейронные поля излучения (NeRF): Используются для создания фотореалистичных 3D-объектов и динамических сцен на основе плоских изображений (например, для эндоскопии).

Нейрорендеринг: Алгоритмы, объединяющие традиционную компьютерную графику с машинным обучением для быстрого синтеза высококачественных 3D-моделей из анатомических данных.

Ключевой архитектурой в медицинской сегментации является U-Net. Архитектура U-Net это сверточная нейросеть (CNN), разработанная в 2015 году для сегментации биомедицинских изображений. Она имеет U-образную форму, состоит из двух основных частей, соединенных сквозными связями (skip connections). Есть ряд компонентов архитектуры, но основные из них это:

Сжимающий путь (Энкодер): Левая часть буквы "U". Состоит из обычных сверток и слоев макс-пулинга (max-pooling). Он уменьшает размер изображения, извлекая глубокие контекстные признаки, но теряет точные пространственные координаты.

Расширяющий путь (Декодер): Правая часть буквы "U". Использует транспонированные свертки (unsampling) для восстановления исходного размера изображения. Это позволяет сформировать точную пиксельную маску (например, отделить опухоль от здоровой ткани).

Сквозные связи (Skip Connections): Передают пространственную информацию из энкодера напрямую в декодер. Они объединяют (конкатенируют) четкие детали границ с глубоким контекстом, обеспечивая высокую точность локализации.

Существует несколько типов U-Net архитектуры:

Attention U-Net: Добавляет блоки внимания, чтобы сеть фокусировалась на целевых объектах и игнорировала фоновый шум.

UNet++: Использует вложенные и плотные сквозные пути, что снижает семантический разрыв между энкодером и декодером.

TransUNet: Объединяет U-Net с трансформерами (Vision Transformers) для одновременного анализа локальных деталей и глобального контекста.

Архитектура TransUNet стала переходным звеном от классических CNN к трансформерам Vision Transformers(ViT), которые анализируют изображение не по частям, а глобально-как единое целое. На основе трансформеров были разработаны мультимодальные модели, способные одновременно обрабатывать 3D-изображения и

текстовые клинические данные, что открыло новый этап в автоматизированной диагностике.

Трансформеры (Transformers) и мультимодальные модели (Multimodal Models) сейчас являются одним из главных трендов автоматизации и точной диагностики. Эти технологии объединяют разные типы данных: текст, медицинские изображения (КТ, МРТ, рентген), генетическую информацию и структурированные электронные медицинские карты (ЭМК/EHR). Ключевые направления применения в медицине:

Анализ мультимодальных медицинских изображений: Pure-трансформеры требуют огромных датасетов, которых в медицине часто не хватает. Поэтому ученые создают гибридные модели (CNN + Transformer). CNN эффективно извлекает низкоуровневые признаки, а трансформер связывает глобальные контексты разных модальностей (например, МРТ-снимки в разных режимах).

Генерации медицинских отчетов (Medical Report Generation): Мультимодальные архитектуры связывают Vision Transformer (ViT) для анализа снимка и текстовый декодер (например, на базе GPT) для автоматического написания подробного клинического заключения.

Слияние текста и структурированных карт (EHR): Модели объединяют свободный текст клинических заметок врача с табличными данными анализов и жизненных показателей пациента. Это помогает точнее прогнозировать риски госпитальной смертности или развитие осложнений.

А теперь о применении ИИ в 3D-анализе. В настоящее время наблюдается стремительный рост применения ИИ в трехмерном анализе медицинских данных. Технологии глубокого обучения (Deep Learning) трансформируют обработку данных КТ, МРТ и 3D-УЗИ, заменяя трудоемкий ручной анализ автоматизированными алгоритмами. Ниже будут представлены ключевые направления применения ИИ в 3D-анализе:

Автоматическая 3D-сегментация и реконструкция. Традиционное построение 3D-моделей вручную занимает много времени и подвержено ошибкам. Алгоритмы ИИ решают эту проблему:

Точность разметки: Нейросети (такие как U-Net, V-Net и DenseVNet) изолируют опухоли, органы и сосудистые русла на серии 3D-срезов с коэффициентом точности (Dice score) более 0.90

Повышение качества: ИИ способен воссоздавать высокоточные 3D-модели даже из низкокачественных или зашумленных исходных снимков.

Генеративный ИИ: Новейшие мультимодальные модели (Video-Text Generative AI) начинают применять к 3D-данным КТ/МРТ, анализируя их по аналогии с видеопотоком.

2. Хирургическое 3D-планирование и биопечать. ИИ оптимизирует подготовку к сложнейшим операциям:

Ортопедия и травматология: Системы автоматически рассчитывают углы остеотомии и траектории введения имплантатов при сложных переломах.

Челюстно-лицевая хирургия: ИИ повышает автоматический 3D-цефалометрический анализ (например, система Diagnocat), точно определяя параметры прикуса и деформаций.

3D-биопечать: Нейросети помогают проектировать персонализированные тканевые инженерные конструкции и модели органов на основе анатомических данных пациента.

Сложная онкохирургия: При операциях на печени и поджелудочной железе ИИ выстраивает 3D-взаимосвязь опухоли с критически важными сосудами, сокращая время операции и кровопотерю.

Также ИИ применяется в стоматологии, кардиологии и нейрорадиологии, рассмотрим каждое направление подробнее.

В стоматологии 3D-анализ на базе ИИ совершил революцию благодаря автоматической обработке данных конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) и внутриротового 3D-сканирования:

Эндодонтия и терапия: Алгоритмы автоматически находят и строят 3D-модели скрытых, искривленных или дополнительных корневых каналов, а также с точностью до миллиметра определяют очаги воспаления (периодонтит, кисты) вокруг корней.

Имплантология: ИИ сопоставляет 3D-модель челюсти (КЛКТ) с оптическим слепком зубов. Система автоматически рассчитывает плотность кости, виртуально подбирает оптимальный размер имплантата и прокладывает безопасную траекторию в обход нижнечелюстного нерва и гайморовых пазух.

Ортодонтия: Нейросети за секунды сегментируют каждый отдельный зуб на 3D-скане. Это позволяет мгновенно моделировать виртуальный сетап (конечный результат выравнивания зубов брекетами или элайнерами).

Кардиология. Анализ трехмерных изображений сердца осложняется тем, что орган постоянно движется. ИИ успешно решает эту задачу при обработке 3D-эхокардиографии (3D-УЗИ), КТ-ангиографии и МРТ сердца:

- Автоматическая волюметрия: ИИ в реальном времени рассчитывает объемы камер сердца (желудочков и предсердий), массу миокарда и ключевой показатель "фракцию выброса". Это исключает субъективный фактор при диагностике сердечной недостаточности.

- 3D-оценка клапанов: Нейросети строят точные динамические 3D-модели митрального и аортального клапанов. Это критически важно для планирования малоинвазивных операций (например, TAVI-транскатетерной имплантации аортального клапана).

Виртуальная гемодинамика (FFR-CT): На основе 3D-КТ коронарных артерий ИИ рассчитывает фракционный резерв кровотока (FFR). Метод оценивает, насколько сужение сосуда бляшкой мешает току крови, помогая избежать ненужной инвазивной коронарографии.

Нейрорадиология. Нейрорадиология это один из главных драйверов медицинского ИИ. Здесь 3D-анализ применяется для сверхточной оценки структур головного и спинного мозга по данным МРТ и КТ:

Острая патология (Инсульты): Системы (например, RapidAI, Vizai) автоматически проводят 3D-перфузию головного мозга. ИИ за секунды вычисляет объем необратимо погибшей ткани (ядро инсульта) и объем спасаемой зоны (пенумбра), помогая нейрохирургам принять решение об операции.

Поиск и замер аневризм: Алгоритмы 3D-ангиографии выявляют мелкие внутричерепные аневризмы с чувствительностью более 90% и строят их трехмерную конфигурацию для оценки риска разрыва.

3D-Нейроонкологии: ИИ не просто сегментирует границы опухолей головного мозга (например, глиом), но и разделяет их 3D-структуру на зоны: активная опухоль, некроз, отек. Это незаменимо для планирования лучевой терапии и хирургического удаления.

Нейродегенеративные заболевания: Нейросети проводят 3D-волюметрию коры и подкорковых структур (например, гиппокампа). Сравнивая объемы с возрастной нормой, ИИ помогает выявлять болезнь Альцгеймера на самых ранних стадиях.

Также стоит упомянуть о преимуществах и ограничениях которое предоставляет нам искусственный интеллект. Мы можем начать разбирать их проводя сравнение точность ИИ против врача-радиолога. В стандартном скрининге (маммография, рентген грудной клетки, КТ легких) ИИ показывает сопоставимую, а порой и более высокую чувствительность, но радиологи по прежнему превосходят ИИ в специфичности. Основные выводы из исследований:

Точность диагностики

Скрининг: Систематические обзоры (например, в журнале *European Radiology*) показывают, что алгоритмы глубокого обучения находят микроструктурные изменения (мелкие узлы в легких, ранние признаки рака в груди) не хуже, а иногда точнее человека.

Сложные случаи (КТ/МРТ): При оценке анатомически сложных снимков (например, переломы позвоночника или подозрение на инсульт) радиологи с опытом демонстрируют достоверно более высокую точность и значительно меньшее количество ложных срабатываний.

2. Соотношение чувствительности и специфичности

ИИ: Отличает очень высокой чувствительностью (определяет даже малейшие отклонения), что делает его идеальным инструментом первичного скрининга (Rule-out), но выдает больше ложноположительных результатов (гипердиагностика).

Врач-радиолог: Имеет более сбалансированный показатель, учитывающий клиническую картину, анамнез и симптомы, что обеспечивает высокую точность специфичность (способность точно сказать, что патологии нет).

3. Фактор опыта врача

ИИ стабильно превосходит по точности и скорости младший медицинский персонал и начинающий ординаторов, однако уступает опытным врачам высшей категории (особенно в узких областях, например: костно-мышечной радиологии).

4. Взаимодействие (AI+врач=лучший результат)

Современный консенсус в исследованиях сводится к тому, что гибридный подход (ИИ в качестве "второго читателя")-это золотой стандарт будущего. В ряде исследований отмечается, что работа в тандеме экономит время на создание отчетов и доводит точность обнаружения патологий почти до 99%.

В целом, искусственный интеллект рассматривается как мощный инструмент поддержки принятия врачебных решений, но не как замена специалисту, финальный диагноз и ответственность всегда остаются за врачом.

Клинические случаи применения ИИ в 3D-анализе:

Первый случай: 82-летняя женщина обратилась с жалобами на боль по медиальной поверхности правого бедра. В анамнезе у этой пациентки были множественные операции по декомпрессии и спондилодезу поясничного отдела позвоночника. У нее была диагностирована радикулопатия L3, обусловленная заболеванием смежного сегмента (Adjacent Segment Disease, ASD), развившимся после поясничного спондилодеза. Для прицельной декомпрессии была выполнена полностью эндоскопическая операция на позвоночнике (Full-Endoscopic Spine Surgery, FESS). Предоперационное планирование проводилось с использованием созданных с помощью искусственного интеллекта трехмерных (3D) сомещенных изображений магнитно-резонансной томографии (МРТ) и компьютерной томографии (КТ). Операция была проведена под местной анестезией, что привело к выраженному уменьшению болевого синдрома в послеоперационном периоде. При контрольном обследовании через 3 года пациентка оставалась бессимптомной, признаков заболевания не было выявлено.

Второй случай: В 2024 году компания Google представила Med-Gemini-3D мультимодальную платформу, которая способна интерпретировать трехмерные компьютерно-томографические изображения и формировать заключения на уровне врача-радиолога. Хотя система пока не одобрена для самостоятельного клинического применения, подобные технологии могут способствовать выявлению редких заболеваний, с которыми врачи сталкиваются нечасто. Был случай с девочкой в возрасте 22 месяцев, которая поступила с сохраняющимися двусторонними дефектами теменных костей черепа и выраженной задержкой общего развития. Компьютерная томография выявила симметричные дефекты окостенения, расположенные рядом с сагиттальным швом, которые первоначально не были распознаны лечащим врачом. Мать пациентки использовала приложение на основе Med-Gemini-3D для анализа трехмерной реконструкции КТ-изображения. Система предположила диагноз “череп с меткой Катлина” (Catlin Mark skull) это исторический термин, обозначающий увеличенные теменные отверстия (Enlarged Parietal Foramina, EPF). Это послужило основанием для проведения генетического обследования, в результате которого был выявлен вариант гена CDC42BPB, ассоциированный с синдромом нейроразвития Чилтона-Окура-Чунга (Chilton-Okur-Chung neurodevelopmental syndrome). Ранее связь этого синдрома с увеличенными теменными отверстиями не описывалась. Установление точного диагноза позволило раньше начать необходимую терапию и определить стратегию долгосрочного ведения пациентки. Данный клинический случай подчеркивает потенциальную роль ИИ-ассистированных инструментов в распознавании редких краниофациальных аномалий. Несмотря на то что такие технологии не могут заменить клинический опыт врача и их точность остается вариабельной, они способны расширить круг возможных диагнозов, ускорить направление пациентов к профильным специалистам и улучшить результаты лечения за счет более раннего вмешательства.

Третий случай: 36-летняя женщина перенесла плановое кесарево сечение на 37-й неделе беременности. При послеоперационной рентгенографии органов брюшной полости неожиданно было выявлено гиперденное образование размером 20 мм в области малого таза. Компьютерная томография (КТ) продемонстрировала плотную структуру с рентгеновской плотностью более 3000 единиц Хаунсфилда (HU), сопровождавшуюся артефактами, характерными для металлических объектов, что

вызвало подозрение на оставленное в ходе операции металлическое инородное тело. Просмотр видеозаписи операции и проверка подсчета хирургических инструментов подтвердили отсутствие каких-либо недостающих предметов. Трехмерная реконструкция КТ-изображений и анализ формы с использованием ИИ на базе программного обеспечения с открытым исходным кодом не выявили сходства обнаруженного образования с какими-либо хирургическими металлическими инструментами. При повторном изучении анамнеза было установлено, что ранее пациентке проводилась гистеросальпингография с применением масляного йодсодержащего контрастного вещества. Ретроперспективная оценка пренатальной магнитно-резонансной томографии (МРТ) выявила кистозное образование с высокой интенсивностью сигнала на T1- и T2- взвешенных изображениях с жироподавлением, что соответствовало наличию жировых компонентов. На основании совокупности данных образование было диагностировано как псевдокиста, сформировавшаяся вследствие остаточного масляного контрастного вещества. Данный клинический случай демонстрирует, что использование ИИ-ассистированного анализа трехмерных КТ-реконструкций в сочетании с повторной оценкой данных МРТ может помочь избежать необоснованного повторного хирургического вмешательства.

Заключение

Подводя итоги и исходя из вышесказанного мы можем сказать что интеграция ИИ в анализ трехмерных рентгенологических исследований представляет собой значительный шаг вперед в диагностической радиологии. Проведенный анализ показал, что современные алгоритмы сегментации демонстрируют высокую эффективность при обработке объемных медицинских данных, что подтверждается их широким применением в различных областях диагностики. Сравнение точности ИИ и врача-радиолога выявило, что искусственный интеллект способен достигать сопоставимых, а в отдельных случаях и превосходящих показателей точности, особенно при обработке больших объемов однотипных данных. Однако рассмотренные клинические случаи демонстрируют, что наибольшую эффективность ИИ показывает не как замена специалиста, а как инструмент поддержки и принятия решений например, при предоперационном планировании и совмещении MRI/CT изображений. Перспективы дальнейшего развития этой области связаны с улучшением обобщающей способности моделей на разнородных клинических данных, расширением интеграции ИИ-систем в рабочий прогресс медицинских учреждений, а также разработкой четких регуляторных стандартов для клинического применения. Дальнейшие исследования должны быть направлены на масштабные проспективные испытания, подтверждающие долгосрочную эффективность и безопасность таких технологий в реальной клинической практике.

Список литературы:

1. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32926194/>
2. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41277722/>
3. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40360694/>
4. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39095281/>
5. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39167505>

6. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39075407/>
7. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12699282/>
8. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41393720/>
9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37372802/>
10. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41576210/>
11. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41543485/>
12. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41679265>



**INNOVATIVE
ACADEMY**