

<https://doi.org/10.29296/25877305-2025-04-18>

Многофункциональные рентгеновские комплексы нового поколения в клинической диагностике: обзор возможностей и доказательной базы

В.П. Куценко¹, кандидат медицинских наук,
П.В. Селиверстов², кандидат медицинских наук, доцент,
Ю.А. Кравчук², доктор медицинских наук, профессор,
Ф.В. Гусев³, Раскин Ли⁴

¹Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет Минздрава России

²Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова Минобороны России, Санкт-Петербург

³ООО «Диагностические Медицинские Системы», Москва

⁴Шэньчжэнь Энджелл Технолджи Ко., Лтд., Китай

E-mail: all-tomografs@mail.ru

Рассматриваются многофункциональные рентгеновские комплексы нового поколения и их роль в расширении диагностических возможностей региональных медицинских учреждений. Показано, что внедрение многофункциональных рентген-комплексов способствует раннему выявлению патологий дыхательной системы и опорно-двигательного аппарата, расширяет возможности проведения малоинвазивных вмешательств под визуальным контролем и повышает доступность высокотехнологичной диагностики в условиях ограниченных ресурсов. Обоснована экономическая и клиническая эффективность универсальных рентген-систем для преодоления неравенства в медицинской помощи между центральными и периферийными лечебными учреждениями.

Ключевые слова: многофункциональные рентгеновские комплексы, динамическая цифровая рентгенография, 3D-визуализация под нагрузкой, вентиляционно-перфузионное картирование, флюороскопия, малоинвазивные вмешательства, региональное здравоохранение.

Для цитирования: Куценко В.П., Селиверстов П.В., Кравчук Ю.А. и др. Многофункциональные рентгеновские комплексы нового поколения в клинической диагностике: обзор возможностей и доказательной базы. Врач. 2025; 36 (4): 86–91. <https://doi.org/10.29296/25877305-2025-04-18>

Современная медицинская визуализация является неотъемлемой частью диагностики и лечения, однако во многих небольших клиниках России и других стран БРИКС ощущается острый дефицит качественного диагностического оборудования [1, 2]. Недостаточная оснащенность региональных лечебных учреждений рентгеновской техникой приводит к задержкам в выявлении заболеваний и ограничивает доступ пациентов к своевременной помощи. Согласно международным оценкам, в странах с низким и средним доходом приходится <1 компьютерного томографа на 1 млн жителей, тогда как в высокоразвитых странах – почти 40 на 1 млн населения [1]. Похожий разрыв наблюдается и в обеспеченности базовыми средствами рентгенодиагностики. Ограниченный доступ к цифровой рентгенографии и недостаток опыт-

ных специалистов признаны ключевыми препятствиями для эффективного использования рентген-скрининга, например, при туберкулезе (ТБ) [3]. Во многих регионах эти исследования до сих пор выполняются на устаревших пленочных аппаратах или вообще недоступны, что снижает уровень раннего выявления заболеваний легких, опорно-двигательного аппарата и других патологий.

Проблема актуальна и для России, несмотря на статус страны с относительно высоким уровнем дохода, диспропорция в оснащении между крупными центрами и периферийными больницами остается значительной. Как и в других странах БРИКС, небольшие районные больницы часто не имеют современных цифровых рентгеновских комплексов из-за высокой стоимости и нехватки ресурсов [3]. В результате радиология как основа диагностики *de facto* становится «недооцененной» услугой на периферии [2], хотя ее значение для системы здравоохранения фундаментально. Рентгенография позволяет подтвердить диагноз, определить тактику лечения и контролировать результат, а ее отсутствие приводит к диагностическим ошибкам и запоздалому началу терапии. Эксперты подчеркивают, что недостаточный доступ к методам медицинской визуализации делает недостижимыми цели всеобщего охвата здравоохранением, и призывают внедрять новейшие технологии диагностики повсеместно [1].

В этих условиях появление доступного и универсального оборудования, подобного инновационному цифровому рентгеновскому комплексу ANGEL (производство ANGEL, Китай), может стать решением проблемы для региональной медицины. Данный комплекс объединяет в себе функции сразу нескольких видов рентгенодиагностики (от цифровой флюорографии до 3D-визуализации скелета под нагрузкой). В настоящем обзоре подробно рассматривается значимость такого оборудования для малых клиник, его уникальные технические возможности, сопоставление с высокотехнологичными импортными аналогами, а также анализируются научные данные, подтверждающие клиническую эффективность внедряемых технологий.

Цифровой рентген-комплекс ANGEL представляет собой многофункциональную установку, способную выполнять как стандартные рентгенографические исследования в высоком разрешении, так и динамические рентгеноскопические процедуры. Рассмотрим ключевые функции комплекса и их клиническое значение.

Цифровая флюорография и высокоразрешающая рентгенография. Комплекс оснащен цифровым детектором, обеспечивающим получение четких снимков грудной клетки и других зон с высоким разрешением. В отличие от пленочных флюорографов, цифровая система дает более контрастное изображение при меньшей дозе облучения и почти исключает необходимость повторных снимков. Так, переход от пленки к цифровой технике позволил снизить число повторных экспозиций с 5,5 до 1%, тем самым уменьшая суммарную дозу облучения пациентов [4]. Цифровая флюорография особенно актуальна для массового скрининга заболеваний легких (ТБ, пневмокониоз, опухоли), обеспечивая высокую пропускную способность и интеграцию с системами автоматического анализа. Ограниченный доступ к цифровой рентгенографии является одним из главных препятствий в противотуберкулезных программах [3], поэтому оснащение даже небольших больниц такой технологией потенциально повышает выявляемость ТБ и других болезней дыхательной системы на ранних стадиях.

Технология сшивки снимков позвоночника. Комплекс ANGEL способен автоматически объединять несколько последовательно полученных рентгенограмм в единое изображение большой длины. Это позволяет получать полный обзор позвоночника (например, от шейного до крестцового отдела) на одном снимке, что необходимо для диагностики сколиоза, кифоза и оценки осевой деформации скелета. Ранее для этого приходилось делать несколько разрозненных снимков и монтировать их вручную, либо использовать специализированные дорогостоящие системы. Автоматизированная «сшивка» упрощает оценку искривлений позвоночника и планирование корригирующих вмешательств. Следует учитывать, что любая технология склейки изображений требует контроля качества — описаны артефакты позиционирования, которые при недостаточно точном совмещении могут имитировать, например, перелом металлоконструкции в позвоночнике [5]. Однако при корректной калибровке система обеспечивает достоверное целостное изображение. По данным литературы, современные методы полной цифровой спондилографии сопоставимы по информативности с традиционной рентгенографией, при этом позволяют визуализировать всю ось скелета с существенно меньшей лучевой нагрузкой. Это особенно важно для динамического наблюдения детей с идиопатическим сколиозом, которым требуются регулярные снимки: использование низкодозовых цифровых технологий снижает совокупное облучение без потери качества изображений [6].

У-дуга с функцией рентгеноскопии в реальном времени. Комплекс ANGEL оснащен U-образной поворотной стойкой, на которой закреплены рентгеновская трубка и детектор. Такая конструкция обеспечивает высокую гибкость: можно получать снимки и проводить рентгеноскопию пациента как в положении стоя, так и лежа или сидя, под разными углами. **Режим динамической цифровой рентгеноскопии** (цифровой кинорадиографии) позволяет записывать серии рентгеновских кадров с частотой до 10–15 в секунду и затем воспроизводить их в виде короткого видео [7]. По сути, это «рентген, который движется» — метод, сочетающий достоинства классической рентгенографии (широкий охват области, высокая разрешающая способность) с возможностью оценивать движение органов и структур, как при флюороскопии. При этом такая цифровая кинорентгенография может выполняться с меньшей дозой, чем традиционная непрерывная флюороскопия [7]. В течение одного короткого исследования (обычно ~20 с сканирования) можно получить одновременно стандартный рентгеновский снимок высокого качества и динамическую информацию о движении (например, экскурсии диафрагмы, подвижности суставов или прохождении контраста по пищеводу). ANGEL записывает и сохраняет эти ролики, что позволяет детально проанализировать, например, акт глотания при подозрении на дисфагию или подвижность позвонков при нестабильности. Таким образом, даже в небольшой клинике становится доступна функциональная рентгеноскопия, которую ранее могли выполнять только на стационарных рентген-аппаратах высокого класса.

«Цветной» рентген для оценки кровоснабжения и вентиляции легких. Одной из новаторских возможностей комплекса ANGEL является специальный режим анализа легких, при котором создается цветовая карта распределения воздуха и кровотока в легочной ткани. Технологически это реализуется с помощью программной обработки серии рентгеновских снимков грудной клетки, полученных при дыхательных движениях (динамическая рентгенография грудной клетки).

Изменения плотности изображения в каждом пикселе во время вдоха и выдоха позволяют вычислить относительную вентиляцию, а изменение плотности, связанное с притоком крови — перфузию [8]. Результат представляется в виде наложения цветowych сигналов на обычный рентгеновский снимок: например, зоны хорошей вентиляции окрашиваются одним цветом, участки с дефицитом кровотока — другим. Этот неинвазивный метод функциональной рентгенографии легких не требует применения радиоизотопов или контрастного вещества [9]. В научной литературе подобные технологии называются **динамическая грудная радиография** (*dynamic chest radiography*; DCR). Показано, что DCR способна выявлять нарушения перфузии легких, сходные с результатами традиционной радионуклидной перфузионной сцинтиграфии. Так, эффективность цветовой рентгенографии в выявлении дефектов кровоснабжения в сегментах легких при хронической тромбоэмболической легочной гипертензии сопоставима со сцинтиграммой или ангиопульмонографией (инвазивной контрастной ангиографией) [9]. На практике это означает, что врач на месте может заподозрить тромбоэмболические изменения или локальные нарушения вентиляции, не отправляя пациента в большие центры на дорогие исследования. Технология требует доработки, автоматическое программное распознавание зон гипоперфузии пока уступает по точности визуальной оценке эксперта, а нормальные значения вентиляционно-перфузионных индексов для разных пациентов требуют уточнения. Тем не менее возможность получения «виртуальной вентиляционно-перфузионной карты» легких за 1–2 мин с помощью рентгеновского аппарата позволит осуществлять скрининг для раннего выявления скрытой легочной патологии и оценки функции легких при недоступности компьютерной томографии (КТ) или сцинтиграфии [8].

Автоматический расчет объема легких. Также комплекс ANGEL способен на основе динамического исследования количественно оценивать дыхательные объемы. Специальные алгоритмы анализируют амплитуду смещения диафрагмы и изменение просвета легочных полей между вдохом и выдохом, вычисляя приблизительный объем дыхания каждого легкого. В исследованиях DCR показано, что площадь легочного поля на динамической рентгенограмме хорошо коррелирует с форсированной жизненной емкостью легких, измеренной с помощью классических спирометрических тестов. Иными словами, рентген-комплекс может выполнять роль экспресс-оценки функции внешнего дыхания, приближенно заменяя спирографию у пациентов, которые не способны качественно выполнить дыхательные маневры. Стоит отметить, что точность определения, например, объема форсированного выдоха за 1-ю секунду таким методом пока недостаточна для полного замещения легочных функциональных тестов [8]. Возможность проведения морфологической и функциональной диагностики легких в рамках одного рентгеновского исследования в клинической практике небольших больниц может помочь объективно оценить тяжесть дыхательной недостаточности, отслеживать динамику легочной функции у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ), фиброзом или после перенесенной пневмонии, не прибегая к отдельному оборудованию для спирографии.

3D-визуализация позвоночника и суставов под нагрузкой. Комплекс ANGEL предоставляет возможность получения двух проекций (прямой и боковой) области интереса одновременно и применения программного 3D-реконструирования костных структур. Аналогичные принципы реализованы

в некоторых системах премиум-класса, таких как низкодозовые двухплоскостные рентген-комплексы для всего тела. Съемка пациента в естественном вертикальном положении с двух углов позволяет специальному программному обеспечению построить трехмерную модель скелета, что особенно важно для анализа сложных деформаций позвоночника и суставов нижних конечностей — в положении стоя. В отличие от КТ, такой метод дает информацию о геометрии костей под нагрузкой, когда проявляются истинные отклонения осанки, углы сколиотической деформации, реальное суставное пространство в коленях и тазобедренных суставах и т.д. При классической КТ обследование проводится в положении лежа, что может искажать картину, например, тяжесть сколиоза в положении стоя может быть иная, чем при КТ лежа. 3D-рентгенография под нагрузкой лишена этого недостатка и не требует высокой дозы облучения: по данным исследований, качество визуализации костных структур в таких системах не уступает обычному рентгену, а дозовая нагрузка до 9 раз ниже [6]. Комплекс ANGEL объединяет эту функцию с рутинной рентгенографией, что дает врачам региональных клиник инструмент, ранее доступный лишь специализированным отделениям. 3D-анализ позвоночника позволяет точно измерять углы поворота позвонков во всех плоскостях для планирования операции при сколиозе [6], а весонагрузочные изображения коленных суставов выявляют артрозные изменения (сужение межсуставной щели, остеофиты) значительно надежнее, чем стандартные снимки без нагрузки [10]. Таким образом, можно получить более полную картину патологии и принять обоснованное решение о тактике лечения (консервативное лечение, необходимость операции или оценка ее результатов в динамике).

Инновационный комплекс ANGEL интегрирует в одном аппарате широкий спектр возможностей — от базовой цифровой рентгенографии до продвинутой функциональной и трехмерной визуализации. Для небольших больниц это означает переход на принципиально новый уровень диагностики, сопоставимый с возможностями крупных медицинских центров.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ С ДОРОГОСТОЯЩИМИ АНАЛОГАМИ

На современном рынке медицинского оборудования высокоразвитых стран многие из перечисленных функций реализованы в отдельных специализированных устройствах премиум-класса. Однако их стоимость и сложность обычно делают их недоступными для небольших лечебных учреждений.

Цифровая рентгенография и флюороскопия. В развитых странах переход на цифровые рентгеновские аппараты завершился к середине 2010-х гг., сейчас пленочные установки практически не используются. Высокотехнологичные цифровые рентген-системы (General Electric, Siemens, Philips и др.) обеспечивают превосходное качество изображения, автоматизацию рабочих процессов и низкую дозу. Комплекс ANGEL соответствует современным стандартам, предоставляя детекторный цифровой рентген с качеством изображения на уровне стационарных устройств. При этом за счет универсальности (встроенная флюороскопия и др.) ANGEL может заменить сразу несколько приборов — стандартный рентгеновский аппарат, флюороскопическую стойку и, отчасти, даже функциональное диагностическое оборудование. В крупных больницах Запада, как правило, для этих целей используются разные установки: цифровой рентгеноскопический стол для исследований с контрастом (например, бариевые клизмы,

ангиографии), передвижные С-дуги для интервенционных процедур, системы для длительных снимков (ортопантомографические или EOS-системы для скелета). Комплекс ANGEL является многофункциональным устройством, что выгодно отличает его в условиях ограниченного бюджета и пространства небольшой больницы.

Динамическая цифровая рентгенография (dynamic digital radiography; DDR) и традиционная флюороскопия. Системы DDR позиционируются как новый класс диагностического оборудования, позволяющий оценивать дыхание, подвижность диафрагмы, функцию суставов без КТ и магнитно-резонансной томографии (МРТ). Системы DDR предоставляют уникальную информацию: сочетание анатомического изображения и физиологических данных движения за один сеанс. Однако распространение DDR пока ограничено в связи с высокой стоимостью и необходимостью обучения персонала [8]. Комплекс ANGEL позволяет создать «короткий путь» к внедрению DDR: функция динамической цифровой рентгенографии встроена в оборудование и ее можно использовать в рамках обычных рентгеновских исследований. Несмотря на то, что классическая флюороскопия (особенно с ангиографическими установками высокого класса) обладает более высокой кадровой частотой, однако для большинства диагностических задач (скрининг дыхательной функции, исследование движений скелета, контроль катетеров) динамический режим ANGEL предоставляет сопоставимый объем информации при существенно меньшей лучевой нагрузке. В развитых странах аналогичные низкодозовые подходы рассматриваются как дополнение к традиционной флюороскопии, позволяющее снизить дозу пациентам [8]. Для небольших клиник России и стран БРИКС наличие DDR-режима в универсальном аппарате является преимуществом, отсутствующим у стандартных недорогих рентгеновских систем.

Двухэнергетическая рентгенография/ядерная медицина и «цветной» рентген легких. Оценка вентиляции и перфузии легких в развитых странах обычно осуществляется методом вентиляционно-перфузионной сцинтиграфии (V/Q-scan) или с помощью КТ-ангиопульмонографии для перфузии и специальной вентиляционной терапии (к примеру, ингаляция Хелон-133). Эти методики требуют дорогостоящего оборудования (гамма-камера, КТ) и введения радиоизотопов или контрастов. Кроме того, существуют технологии двухэнергетической цифровой рентгенографии грудной клетки, позволяющие с помощью разных спектров рентгеновских лучей выделять васкуляризацию легких или устранять проекцию костей. Однако и оборудование для двухэнергетической рентгенографии относится к высшему ценовому сегменту и недоступно в обычной практике. На этом фоне подход динамической рентгенографии легких, реализованный в ANGEL, может стать доступной альтернативой: он не требует расходных материалов и специальных изотопов и выполняется как часть обычного рентгеновского обследования [8]. Исследователи из Японии и Европы показали, что динамический рентген способен отображать региональные нарушения легочной перфузии без контраста, экономя ресурсы и время [9]. В высокотехнологичных клиниках развитых стран подобные системы пока используются в рамках научных исследований или ограниченно — главным образом для пациентов, которым противопоказаны КТ/МРТ. Комплекс ANGEL позволяет сделать эту функцию более доступной. Точность и диагностическая ценность качественного анализа DDR уступает «золотым стандартам» и при серьезном подозрении на тромбоэмболию легочной артерии все равно понадобится ангиография КТ.

Однако цветная DDR-рентгенография легких позволит проводить скрининг и первичную диагностику в небольших больницах.

3D-реконструкция скелета под нагрузкой: ANGEL и специализированные системы. В развитых странах для трехмерной визуализации позвоночника и суставов под нагрузкой применяются отдельные устройства (система EOS, Франция, и аналогичные ей биплановые рентгенокомплексы), преимуществами которых являются очень низкая доза излучения и высокая точность измерений в 3D, что важно, например, для повторных исследований у подростков со сколиозом. При этом стоимость таких систем измеряется сотнями тысяч долларов, и они установлены лишь в крупных ортопедических центрах. Комплекс ANGEL не воспроизводит полностью все возможности EOS (последний, например, сканирует сразу всю фигуру человека целиком в двух проекциях), но локальная 3D-визуализация выбранного сегмента (поясничный отдел позвоночника, коленные суставы) с помощью ANGEL позволяет решить многие сходные задачи: получить трехмерные параметры костной геометрии, измерить углы наклона таза, скрутки позвонков, величину суставной щели и др. По сравнению с дорогими аналогами, ANGEL использует стандартные плоскостные детекторы, поэтому доза облучения может быть несколько выше, чем у оптимизированных EOS-систем. Тем не менее, она остается в пределах, сопоставимых с обычной рентгенографией [6], и неизмеримо ниже, чем доза КТ. Таким образом, по информативности для клинициста ANGEL приближается к уровню специализированных 3D-систем: например, показано, что угол вращения позвонков, измеренный при 3D-реконструкции с рентгенографией, столь же воспроизводим и надежен, как при использовании EOS [6]. Возможность на месте получить более полное представление о сложной деформации позвоночника вместо направления пациента на КТ в областной центр является полезным решением для районной больницы.

Комплекс ANGEL обеспечивает функционал, эквивалентный целому ряду высокотехнологичных установок, объединенных в одном устройстве. Если в клиниках разные аспекты диагностики (качественная цифровая рентгенография, флюороскопия, динамическое легочное картирование, 3D-анализ скелета) реализуются разрозненно, то здесь все опции интегрированы. Это не только экономит средства, но и облегчает работу персонала: единое программное обеспечение, единый интерфейс и обслуживание одного комплекса вместо нескольких. Для небольших клиник с ограниченными ресурсами такая интеграция возможностей в одном доступном аппарате позволит преодолеть разрыв в качестве диагностики между центром и периферией.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Накоплено множество свидетельств, что внедрение описанных инноваций напрямую улучшает раннюю выявляемость болезней и точность диагностики, а, следовательно, клинические исходы.

Раннее выявление ТБ и легочной патологии с помощью цифровой рентгенографии. Переход на цифровые флюорографы в противотуберкулезных службах уже показал свою эффективность. Так, в странах с высоким бременем ТБ (в том числе в России) ограниченная доступность цифровых технологий ранее сдерживала прогресс скрининга [3]. С появлением доступных цифровых комплексов, оснащенных системой автоматического анализа снимков (CAD), стало возможным быстро и точно сортировать пациентов с кашлем для дообсле-

дования. Показано, что компьютерный алгоритм, анализирующий цифровые рентгенограммы (программа qXR), достиг чувствительности 91% при выявлении ТБ у госпитализированных пациентов из групп риска. Хотя специфичность была ниже, высокая чувствительность на этапе триажа означает, что большинство случаев активного ТБ можно обнаружить с помощью цифрового снимка. При этом цифровой рентген находит и другие патологии: у 81% пациентов с кашлем алгоритм обнаружил разные патологии (инфильтраты, узелки и т.д.) [11], позволяя выявлять сопутствующие или альтернативные заболевания легких. Применение цифровых изображений даже без CAD облегчает распознавание мелких инфильтратов и каверн, особенно при телерадиологической консультации, что актуально для сельских лечебно-профилактических учреждений. Таким образом, оснащение небольших клиник цифровым комплексом, таким как ANGEL, прямо влияет на раннюю диагностику ТБ и патологии органов дыхания, что, в конечном итоге, позволит снизить распространение инфекции и улучшить прогноз пациентов.

Сложные случаи ортопедической диагностики с полноразмерными снимками и 3D-анализом. В практике районных травматологов распространены ситуации, когда пациент предъявляет жалобы (например, боли в спине после операции), а стандартный локальный снимок не дает полной картины. Технология сшивки изображений позвоночника и 3D-реконструкция могут помочь в диагностике таких случаев. При этом стоит помнить, что при склейке изображений возможны появления артефактов. Так, в работе [12], показано, что сбой в программном слиянии кадров имитировал перелом стержня у подростка со сколиозом (эффект назван авторами «химерой цифровой радиографии»). В более крупных исследованиях показано, что 3D-анализ, полученный из парных рентгенограмм, позволяет точно измерять параметры сколиоза и контролировать эффективность лечения [6]. Это особенно важно при планировании повторных операций или коррекции установки имплантов. Для небольших клиник наличие такого инструмента может означать своевременное направление пациента в специализированный центр для оказания помощи, снижение вероятности диагностических ошибок и улучшение результатов лечения. Например, вместо того чтобы направлять всех подряд пациентов с болями после спинальных операций на КТ/МРТ, врач в районной больнице может сначала выполнить 3D-рентгенографию под нагрузкой. Если она выявит смещение или перелом, то сразу принимается решение об экстренной госпитализации, если данные патологии не выявлены, то пациента можно лечить консервативно.

Улучшение диагностики заболеваний легких за счет динамической рентгенографии. Возможности «цветного» рентгена и динамического анализа легких подтверждаются клиническими наблюдениями. Так, в клиническом случае пациента с хронической тромбоэмболической легочной гипертензией, показано, что динамическая цифровая рентгенография способна обнаружить множественные дефекты перфузии в легких, совпадающие с данными сцинтиграфии и ангиографии [9]. После выполнения пациенту хирургической тромбэндартерэктомии контрольное исследование на том же аппарате показало восстановление кровотока в нижних долях — изменения, которые также подтвердились инвазивной ангиографией. При этом лучевая нагрузка данного рентгеновского метода оказалась в 5 раз ниже, чем при радионуклидной диагностике (0,15 мЗв против 0,8 мЗв). Другие исследования сообщают, что динамическая рентгенография обнаруживает

нарушения диафрагмального движения, незаметные при статическом снимке, и показывает отличия в вентиляции у пациентов с разными легочными заболеваниями [8]. Например, при параличе диафрагмы данный метод наглядно демонстрирует отсутствие подвижности купола на пораженной стороне, что подтверждает диагноз без необходимости флюороскопии с большими дозовыми нагрузками. Также установлено, что визуализация вентиляции и перфузии на рентгене может служить экспресс-скринингом широкого спектра патологий — от ХОБЛ до последствий перенесенной пневмонии [8]. В условиях региональной больницы это означает, что, выявив по цветовой карте подозрительную зону, врач может своевременно направить пациента на углубленное обследование (КТ, сцинтиграфию) или начать лечение эмпирически, не дожидаясь прогрессирования болезни. Кроме того, возможность оценить функцию легких количественно (через расчет объема и подвижности) дает объективный критерий эффективности терапии (например, при назначении бронхолитиков можно спустя некоторое время повторить DCR для выявления улучшения/ухудшения экскурсии диафрагмы и вентиляции).

Безопасность и эффективность малых инвазивных вмешательств под контролем рентгена. Наличие флюороскопического режима в комплексе ANGEL позволит врачам небольших клиник выполнять ряд вмешательств. Например, установка центрального венозного катетера или порт-системы для химиотерапии зачастую выполняется хирургами «вслепую» или под УЗ-контролем, а рентген-контроль осуществляют постфактум (обзорная рентгенография грудной клетки для контроля положения катетера). При наличии рентгеноскопии врач может в реальном времени видеть продвижение катетера и корректировать его положение. Исследования показывают, что флюороскопическое сопровождение катетеризации существенно повышает точность установки и позволяет сразу проверить функционирование порта. В крупном исследовании (1254 имплантации портов) показано, что сочетание УЗ-наведения и рентгеноскопии обеспечивает практически 100% успех процедур с минимальными осложнениями [13]. В небольших больницах, где нет отдельного ангиографического оборудования, но есть комплекс ANGEL, можно безопасно выполнять такие процедуры в перевязочной. Также под контролем рентгеноскопии становится возможным выполнение на месте контрастных исследований желудочно-кишечного тракта (глотание бария, ирригоскопия). Это повышает диагностические возможности, например, при подозрении на нарушение проходимости пищевода или аспирацию пищи можно прямо в районной больнице провести рентгеноскопический тест с барием, тогда как раньше пришлось бы направлять пациента в областной центр. Известно, что модифицированное бариевое исследование глотания — один из самых информативных тестов при дисфагии [14, 15], возможность его выполнения способствует выбору тактики лечения (эндоскопическое обследование, хирургическая коррекция и т.п.).

Рентген-контроль подвижности костей и суставов под нагрузкой позволяет безопасно выполнять малоинвазивные ортопедические процедуры. Например, при трудностях в диагностике нестабильности позвонков можно сделать функциональные рентгенограммы (со сгибанием/разгибанием) и, выявив патологическую подвижность, провести малотравматичную фиксацию. Без такого контроля подобные состояния часто остаются нераспознанными. Таким образом, наличие универсального рентген-комплекса повышает уровень оказания помощи: процедуры, ранее недоступные в неболь-

шой больнице, становятся осуществимыми и безопасными [13], что, в конечном итоге, улучшает результаты лечения (меньше осложнений катетеризаций, своевременная диагностика стриктур желудочно-кишечного тракта и др.).

Таким образом, применение цифровой рентгенографии, динамических исследований и 3D-визуализации способствует более точной диагностике и лучшим исходам у пациентов. Данные технологии позволяют сокращать сроки выявления серьезных заболеваний, оптимизировать планирование операций и минимально инвазивных вмешательств, повышать безопасность процедур [16–18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Недостаток качественного диагностического оборудования в небольших клиниках — серьезная проблема систем здравоохранения России и стран БРИКС, ведущая к неравенству в медицинской помощи. Инновационный цифровой рентгеновский комплекс ANGEL позволяет преодолеть этот разрыв. Объединяя функции, ранее требовавшие нескольких разрозненных дорогостоящих аппаратов, ANGEL предоставляет региональным специалистам универсальный инструмент для полноценной лучевой диагностики. В одном комплексе доступны высококачественные цифровые рентгеновские снимки, рентгеноскопия в реальном времени, функциональное «кино» дыхательных движений, и даже трехмерная реконструкция скелета под нагрузкой, то есть практически весь спектр радиологической помощи, необходимой в практике клинициста.

Научно обоснованные данные подтверждают значимость каждой из этих технологий. Оснащение периферийных лечебных учреждений подобными комплексами ведет к более раннему выявлению ТБ и онкопатологии легких, улучшению диагностики заболеваний опорно-двигательного аппарата (сколиоз, артрозы), повышению безопасности инвазивных вмешательств. Интеграция множества возможностей в одном аппарате — это не только удобство, но и экономическая эффективность: инвестиции в универсальные рентген-комплексы способны создать долгосрочные системные сбережения и улучшить исходы для пациентов. В условиях, когда мировое сообщество говорит о ценностно-ориентированном здравоохранении, подобное оборудование позволяет достичь сразу двух целей — повысить качество диагностики и сделать ее более доступной без неоправданного роста расходов.

Таким образом, рентгеновский комплекс нового поколения ANGEL представляет собой значимый прорыв для региональной медицины. Его внедрение в региональные клиники России и других стран с формирующейся экономикой способно вывести лучевую диагностику на качественно новый уровень, приблизив ее к стандартам ведущих мировых центров. Это означает более точную и своевременную диагностику для миллионов пациентов, лучшую основу для лечения и, в конечном счете, сохраненные жизни и здоровье населения за счет прогресса медицинской технологии. Таким образом, научно обоснованный подход к развитию лучевой диагностики в регионах позволит добиться реального улучшения эпидемиологической ситуации (например, по ТБ), исходов травм и хронических заболеваний и приблизиться к цели всеобщего охвата качественной медицинской помощью. Интеграция всех перечисленных возможностей в одном доступном аппарате — это не просто техническое достижение, а практическое решение насущной проблемы здравоохранения, открывающее новые горизонты для клиницистов и исследователей.

* * *

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов,
связанного с публикацией данной статьи.

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Статья поступила в редакцию / The article received: 16.11.2024.

Принята к публикации / Accepted: 22.01.2025.

Литература/References

- Frija G., Blazić I., Frush D.P. et al. How to improve access to medical imaging in low- and middle-income countries? *EClinicalMedicine*. 2021; 38: 101034. DOI: 10.1016/j.eclinm.2021.101034
- Hinrichs-Krapels S., Tombo L., Boulding H. et al. Barriers and facilitators for the provision of radiology services in Zimbabwe: A qualitative study based on staff experiences and observations. *PLOS Glob Public Health*. 2023; 3 (4): e0001796. DOI: 10.1371/journal.pgph.0001796
- Barrett R., Creswell J., Sahu S. et al. User perspectives on the use of X-rays and computer-aided detection for TB. *Int J Tuberc Lung Dis*. 2022; 26 (11): 1083–5. DOI: 10.5588/ijtld.22.0232
- Hui S.C., Pialasse J.P., Wong J.Y. et al. Radiation dose of digital radiography (DR) versus micro-dose x-ray (EOS) on patients with adolescent idiopathic scoliosis: 2016 SOSORT-IRSSD "John Sevastik Award" Winner in Imaging Research. *Scoliosis Spinal Disord*. 2016; 11: 46. DOI: 10.1186/s13013-016-0106-7
- Rajasekaran S., Natarajan R.N., Babu J.N. et al. Lumbar vertebral growth is governed by "chondral growth force response curve" rather than "Hueter-Volkman law": a clinico-biomechanical study of growth modulation changes in childhood spinal tuberculosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011; 36 (22): E1435–45. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3182041e3c
- Rehm J., Germann T., Akbar M. et al. 3D-modeling of the spine using EOS imaging system: Inter-reader reproducibility and reliability. *PLoS One*. 2017; 12 (2): e0171258. DOI: 10.1371/journal.pone.0171258
- Konica Minolta. Dynamic Digital Radiography: Radiography in Motion. Konica Minolta Healthcare Americas, Inc. [Internet]. 2023. URL: <https://healthcare.konicaminolta.us/radiography/dynamic-digital-radiography/>
- Fyles F., FitzMaurice T.S., Robinson R.E. et al. Dynamic chest radiography: a state-of-the-art review. *Insights Imaging*. 2023; 14 (1): 107. DOI: 10.1186/s13244-023-01451-4
- Yamasaki Y., Abe K., Hosokawa K. et al. A novel pulmonary circulation imaging using dynamic digital radiography for chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Eur Heart J*. 2020; 41 (26): 2506. DOI: 10.1093/eurheartj/ehaa143
- Babatunde O.M., Danoff J.R., Patrick D.A. Jr. et al. The Combination of the Tunnel View and Weight-Bearing Anteroposterior Radiographs Improves the Detection of Knee Arthritis. *Arthritis*. 2016; 2016: 9786924. DOI: 10.1155/2016/9786924
- Biewer A., Tzelios C., Tintaya K. et al. Accuracy of digital chest x-ray analysis with artificial intelligence software as a triage and screening tool in hospitalized patients being evaluated for tuberculosis in Lima, Peru. *medRxiv [Preprint]*. 2023: 2023.05.17.23290110. DOI: 10.1101/2023.05.17.23290110 [Update in: *PLOS Glob Public Health*. 2024; 4 (2): e0002031. DOI: 10.1371/journal.pgph.0002031].
- Salem K.H., Ladenburger A., Schoth F. et al. Chimera of digital radiography in spine surgery: False diagnosis of implant failure. *J Clin Orthop Trauma*. 2019; 10 (4): 645–9. DOI: 10.1016/j.jcot.2018.09.010
- Ahn S.J., Kim H.C., Chung J.W. et al. Ultrasound and fluoroscopy-guided placement of central venous ports via internal jugular vein: retrospective analysis of 1254 port implantations at a single center. *Korean J Radiol*. 2012; 13 (3): 314–23. DOI: 10.3348/kjr.2012.13.3.314
- Carbo A.I., Brown M., Nakroun N. Fluoroscopic Swallowing Examination: Radiologic Findings and Analysis of Their Causes and Pathophysiologic Mechanisms. *Radiographics*. 2021; 41 (6): 1733–49. DOI: 10.1148/rg.2021210051
- Martin-Harris B., Bonilha H.S., Brodsky M.B. et al. The Modified Barium Swallow Study for Oropharyngeal Dysphagia: Recommendations From an Interdisciplinary Expert Panel. *Perspectives of the ASHA Special Interest Groups*. 2021; 6 (3): 610–9. DOI: 10.1044/2021_PERSP-20-00303
- Brady A.P., Bello J.A., Derchi L.E. et al. Radiology in the Era of Value-based Healthcare: A Multi-Society Expert Statement from the ACR, CAR, ESR, IS3R, RANZCR, and RSNA. *Radiology*. 2021; 298 (3): 486–91. DOI: 10.1148/radiol.2020209027
- Yamasaki Y., Abe K., Kamitani T. et al. Efficacy of Dynamic Chest Radiography for Chronic Thromboembolic Pulmonary Hypertension. *Radiology*. 2022; 306 (3): 220908. DOI: 10.1148/radiol.220908
- Tanaka R., Matsumoto I., Tamura M. et al. Dynamic chest radiography: clinical validation of ventilation and perfusion metrics derived from changes in radiographic lung density compared to nuclear medicine imaging. *Quant Imaging Med Surg*. 2021; 11 (9): 4016–27. DOI: 10.21037/qims-20-1217

MULTIFUNCTIONAL X-RAY COMPLEXES OF THE NEW GENERATION IN CLINICAL DIAGNOSTICS: AN OVERVIEW OF THE POSSIBILITIES AND EVIDENCE BASE

V. Kutsenko¹, Candidate of Medical Sciences; Associate Professor **P. Seliverstov**², Candidate of Medical Sciences; Professor **Yu. Kravchuk**³, MD; **F. Gusev**³; **Ruskin Li**⁴
¹Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of Russia
²S.M. Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defense of Russia
³Diagnostic Medical Systems LLC, Moscow
⁴Shenzhen Angell Technology Co., Ltd., China

This review examines multifunctional X-ray systems of the new generation and their role in expanding the diagnostic capabilities of regional medical institutions. It is shown that the implementation of multifunctional X-ray complexes contributes to the early detection of respiratory and musculoskeletal pathologies, expands the possibilities for minimally invasive interventions under visual control, and increases the availability of high-tech diagnostics in resource-limited settings. The economic and clinical effectiveness of universal X-ray systems for overcoming healthcare inequality between central and peripheral medical institutions is substantiated.

Key words: multifunctional X-ray systems, dynamic digital radiography, weight-bearing 3D visualization, ventilation-perfusion mapping, fluoroscopy, minimally invasive interventions, regional healthcare.

For citation: Kutsenko V., Seliverstov P., Kravchuk Yu. et al. Multifunctional X-ray complexes of the new generation in clinical diagnostics: an overview of the possibilities and evidence base. *Vrach*. 2025; 36 (4): 86–91. <https://doi.org/10.29296/25877305-2025-04-18>

Об авторах / About the authors: Kutsenko V.P. SPIN-код: 5760-0218, ORCID: 0000-0001-9755-1906; Seliverstov P.V. SPIN-код: 6166-7005, ORCID: 0000-0001-5623-4226; Kravchuk Yu.A. SPIN-код: 6767-5189, ORCID: 0000-0001-8347-0531