

Влияние медико-технических характеристик цифровых рентгеновских установок на качество изображений

Р.Б. Амансахатов, М.И. Зеликман, В.Г. Родина, П.В. Садилов

Около 10 лет прошло с момента появления и начала эксплуатации первой отечественной установки для профилактических исследований органов грудной полости [1, 2]. За это время накоплен определенный опыт в использовании цифровых флюорографов; данные устройства претерпели несколько этапов модернизации, в результате чего удалось в значительной степени улучшить их медико-технические характеристики и обеспечить возможность использования не только для задач профилактических исследований, но и для дообследования пациентов пульмонологического профиля.

Эволюцию цифровых флюорографических аппаратов удобно проследить на примере сканирующих систем на базе линейных твердотельных детекторов производства компании “Рентгенпром”. Это семейство установок “ПроСкан”: собственно малодозовый флюорограф “ПроСкан” и его модификации — “ПроСкан-2000” и “ПроСкан-7000”. Остановимся вкратце на основных медико-технических характеристиках этих систем. Общим для них является использование принципа сканирования приемника вдоль горизонтальной оси при вращательном движении вокруг фокусного пятна рентгеновской трубки коллиматора, закрепленного на общей штанге с линейкой детекторов. Все эти комплексы оснащены среднечастотными питающими устройствами; в излучателе “ПроСкан-7000” используется рентгеновская трубка с микрофокусом размером 0,3 мм, “ПроСкан” и “ПроСкан-2000” работают с большими размерами фокусного пятна (0,6 мм и 1,2 мм). Во всех этих системах реализована контрастная чувствительность порядка 0,5–1%, но достичь ее удается при различных значениях дозы в плоскости детектора (лучший показатель здесь у “ПроСкан”, так как в этой системе более эффективно используется энергия рентгеновского потока из-

за лучшего соотношения площадей детектора и сечения рентгеновского пучка в плоскости детектора). Наиболее существенное отличие в характеристиках рассматриваемых цифровых флюорографов касается их пространственной разрешающей способности. У комплекса “ПроСкан” размер приемного элемента детектора составляет приблизительно 400 мкм, что соответствует разрешению примерно 1,2 пар линий/мм; у флюорографов “ПроСкан-2000” и “ПроСкан-7000” приведенные к входной плоскости приемника размеры элемента детектора составляют соответственно 220 мкм (около 2 пар линий/мм) и 160 мкм (около 3 пар линий/мм). В данном случае речь идет о так называемом высококонтрастном разрешении, то есть о возможности разрешить в пространстве объекты, контраст которых близок к 100%. Оценке влияния на диагностические возможности рассматриваемых аппаратов пространственной разрешающей способности их приемников и посвятим в основном дальнейшее рассмотрение.

Анализ будем проводить в двух направлениях: рассмотрение экспертных заключений опытных врачей-рентгенологов на основании зарегистрированных в различных лечебно-профилактических учреждениях (ЛПУ) изображений органов грудной полости и сравнение зарегистрированных при изменении режимов съемки изображений тест-объекта “деталь—контраст” CDRAD (type 2.0). Данный фантом, помимо оценки характеристик обнаружения объектов с относительно высоким контрастом, позволяет оценить и качество обнаружения малоконтрастных объектов, что особенно важно в рентгенодиагностике. Дополнительно в рамках данной работы оценивалось влияние на диагностические возможности сканирующих цифровых систем характеристик мониторов, входящих в состав автоматизированных рабочих мест (АРМ)

врача-рентгенолога. С этой целью все изображения параллельно анализировались экспертами на входящем в штатную комплектацию комплексов “ПроСкан-2000” и “ПроСкан-7000” мониторе с жидкокристаллическим дисплеем Sony SDM-S204E (20,1”), а также мониторе с электронно-вакуумной трубкой Samsung SyncMaster 783 dF (17”).

Анализ диагностических возможностей сканирующих систем при использовании тест-объекта CDRAD (type 2.0)

Изготавливаемый компанией Nuclear Associates тест-объект CDRAD (type 2.0) представляет собой пластину из оргстекла с отверстиями, диаметр которых изменяется по логарифмическому закону в диапазоне от 0,3 до 8 мм, в этом же диапазоне и с таким же шагом изменяется глубина отверстий. Поверхность пластины разбита на 225 ячеек (15 строк и 15 столбцов), в каждой из которых расположено по одному или по два (одно в середине ячейки, а другое по случайному закону в одном из углов — для исключения по возможности субъективного фактора при измерениях) отверстия соответствующей глубины. Структура тест-объекта CDRAD (type 2.0) представлена на рис. 1.

В процессе испытаний в качестве дополнительного фильтра, имитирующего потери рентгеновского потока в теле пациента, использовалась медная пластина толщиной 1 мм. При режимах съемки, соответствующих худому и среднему пациенту (анодные напряжения примерно 85 кВ и 95 кВ при силе тока рентгеновской трубки порядка 5–7 мА и 10 мА соответственно), изображения тест-объекта, полученные на трех установках, отличаются очень незначительно (можно говорить о наличии лишь статистической погрешности в оценках). Но все координально меняется при режиме съемки, соответствующем полному пациенту (анодное напряжение 110 кВ, сила тока рентгеновской трубки изменяется в диапазоне от 13 мА до 22 мА). На рис. 2 представлено изображение CDRAD с отмеченными границами ячеек с корректно распознаваемыми отверстиями при использовании систем “ПроСкан”, “ПроСкан-2000” и “ПроСкан-7000” в режиме съемки для полного пациента. Данный рисунок отчетливо иллюстрирует тот факт, что “ПроСкан-7000” имеет ощутимый запас по характеристике “деталь–контраст” по отношению к “ПроСкан-2000”

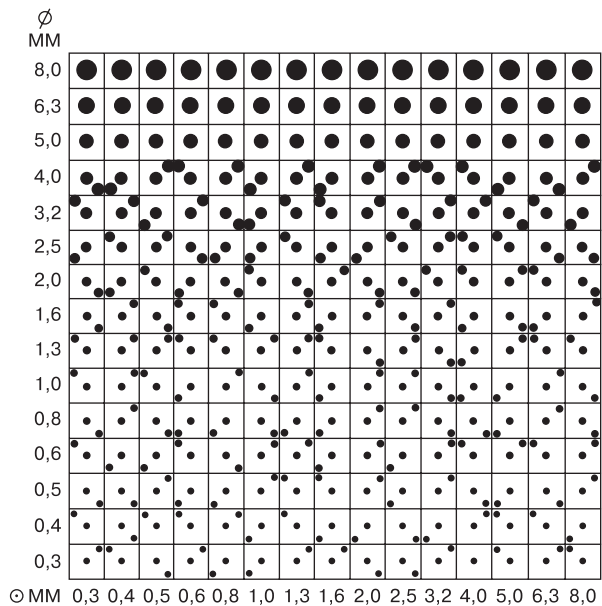


Рис. 1. Структура тест-объекта CDRAD (type 2.0).

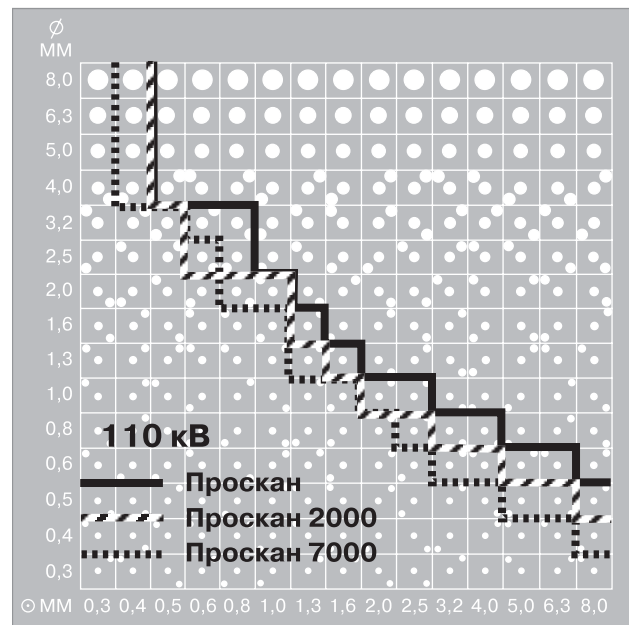


Рис. 2. Границы корректного обнаружения для различных типов флюорографов.

(естественно, по сравнению с флюорографом “ПроСкан” этот запас еще больше).

Небезынтересно, на наш взгляд, проанализировать влияние на характеристику “деталь–контраст” режима съемки (дозы в плоскости детектора) для одного из аппаратов. На рис. 3 представлены границы ячеек с корректно распознаваемыми отверстиями на изо-

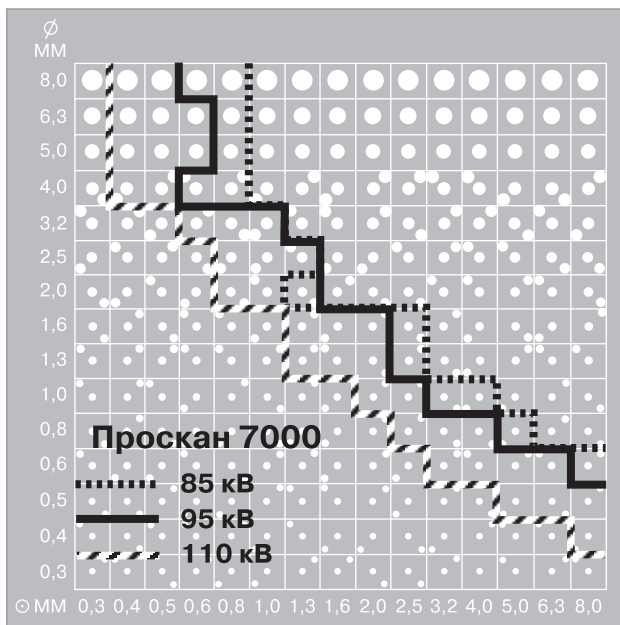


Рис. 3. Границы корректного обнаружения для различных режимов съемки (различных значений дозы в плоскости детектора) при использовании системы “ПроСкан-7000”.

бражении тест-объекта при различных режимах съемки для аппарата “ПроСкан-7000”. Режиму съемки худого пациента (85 кВ) соответствовала доза в плоскости приемника около 1,5 мкГр, среднего пациента (95 кВ) — около 3,5 мкГр, а полного (110 кВ) — около 8 мкГр.

Представленные результаты свидетельствуют о том, что преимущества в качестве диагностики при использовании цифровой сканирующей системы “ПроСкан-7000” начинают заметно проявляться при дозах в плоскости детектора порядка 8 мкГр, что соответствует режиму съемки полного пациента.

Существенной разницы в качестве отображения зарегистрированных на различных флюорографах (все три режима съемки) изображений тест-объекта при использовании мониторов Sony SDM-S204E (режим отображения 1600 × 1200 пикселей) и Samsung SyncMaster 783 dF (режим отображения 1280 × 1024 пикселей) в процессе описанных экспериментов не наблюдалось. Здесь следует оговориться, что данный вывод корректен лишь для случая, когда эксперт одновременно обзрывает весь снимок (типичная ситуация при профилактических исследованиях органов грудной полости). В случае же дообследования врачу зачастую необходимо рассмотреть в увеличенном масштабе отдельные детали изображения, и тут, конечно, преимущество

мониторов, реализующих режим большего разрешения, не вызывает сомнения.

Эксперименты также подтвердили теоретическое положение о потенциальной разрешающей способности системы. Одна из интерпретаций теоремы Котельникова (в англоязычной литературе — Найквиста) сводится к тому, что для надежного обнаружения объекта размер приемного элемента детектора должен быть не менее чем в 2 раза меньше размера этого объекта (по каждой из координат) [3]. Речь в этом случае идет об объектах с относительным контрастом, близким к 100%. При режиме съемки, соответствующем полному пациенту, система “ПроСкан-7000” обнаруживает объекты, размером 400 мкм (при размере приемного элемента около 160 мкм), “ПроСкан-2000” обнаруживает объекты размером 500 мкм (приемный элемент — около 220 мкм), а “ПроСкан” — 600 мкм (приемный элемент — около 400 мкм). Незначительные отклонения от классического соотношения определяются тем, что обнаруживаемые объекты на фантоме CDRAD (type 2.0) при заданном качестве излучения имеют контраст, близкий к 20%.

Анализ результатов экспертных оценок медицинских изображений, зарегистрированных на различных установках

Методика данного эксперимента сводилась к следующему. В базу данных персонального компьютера в случайном порядке были помещены изображения органов грудной клетки 191 пациента (приблизительно одинаковое количество для каждого из трех типов флюорографов). Изображения выводились сначала на один из мониторов, а затем (после изменения порядка следования изображений) и на другой, а задача экспертов сводилась к тому, чтобы определить, на каком из флюорографов сделан снимок. Результаты эксперимента сведены в табл. 1. К эксперименту были привлечены врачи-рентгенологи, имеющие опыт работы на рассматриваемых цифровых рентгеновских установках и специализирующиеся в области легочной патологии.

Воспроизводилась обстановка, соответствующая условиям работы врача при профилактической флюорографии. Изображение на экране монитора представлялось в зарегистрированном виде (без применения математической обработки). Снимок анализировался

Таблица 1.

Эксперты	Тип ошибки	Монитор Sony	Монитор Samsung
№1	“ПроСкан” “ПроСкан-2000” “ПроСкан-7000”	82 (42,9%)	90 (47,1%)
	“ПроСкан” “ПроСкан-2000” + “ПроСкан-7000”	43 (22,5%)	52 (27,5%)
№2	“ПроСкан” “ПроСкан-2000” “ПроСкан-7000”	38 (19,9%)	80 (41,9%)
	“ПроСкан” “ПроСкан-2000” + “ПроСкан-7000”	20 (10,5%)	50 (26,2%)

именно таким, как видит у себя на экране монитора врач-рентгенолог, производящий описание флюорограмм при профилактических исследованиях. Эксперты изучали детализацию легочного рисунка, наличие “зернистости” из-за искажений при отображении снимка (особенно заметных на аппаратах “ПроСкан”) и четкость отображения костных элементов грудной клетки.

В таблице, в столбце “Тип ошибки” представлены данные, отражающие два варианта неправильного распознавания типа аппарата, на котором делались снимки.

1. Вариант, при котором каждая из модификаций флюорографа рассматривалась отдельно (нужно было корректно распознать один из трех типов флюорографов).

2. Вариант, при котором “ПроСкан-2000” и “ПроСкан-7000” были объединены (нужно было отличить “ПроСкан” от объединенных вместе “ПроСкан-2000” и “ПроСкан-7000”).

Как видно из таблицы, общее число ошибок было больше при работе на мониторе с электронно-вакуумной трубкой в сравнении с работой на жидкокристаллическом мониторе, хотя для эксперта № 1 разница оказывается несущественной. Можно предположить, что причины увеличения числа ошибок при работе на мониторе с электронно-вакуумной трубкой сводились как к менее четкому изображению, так и к более быстрой утомляемости оператора, характерной для данного типа видеоконтрольных устройств. Дополнительно отметим, что число ошибок при работе с монитором с электронно-вакуумной трубкой у обоих экспертов отличается незначительно.

Существенное (около двух раз для обоих типов мониторов) уменьшение количества ошибок при объединении в одну группу флюорографов “ПроСкан-2000” и “ПроСкан-7000” свидетельствует о том, что качество формируемых изображений системы “Про-

Скан” и этих флюорографов отличается заметно, а внутри объединенной группы различия менее существенны.

Анализ клинических примеров

Перейдем к анализу некоторых интересных с клинической точки зрения примеров.

Отметим, что минимальные изменения (особенно при динамическом наблюдении) содержат ценную информацию в плане определения активности процесса, а также для дифференциальной диагностики. В этом смысле, “мелочей” не бывает.

Исходя из клинического опыта, изменения, показанные ниже, с трудом могли бы быть заподозрены при использовании аппарата “ПроСкан”, плохо были бы видны на “ПроСкан-2000” и четко визуализируются на “ПроСкан-7000”. Представленные цифровые флюорограммы, выполненные на аппарате “ПроСкан-7000”, благодаря высокому пространственному разрешению позволяют увидеть те изменения, которые скорее всего могли быть пропущены при меньшем пространственном разрешении. В первом случае лимфангоит скорее всего не был бы замечен на аппаратах более старшего поколения (рис. 4).

Больной М., 53 г. Лимфангоит окружает правый корень. Имеется реакция плевры малой междолевой щели. Вероятнее всего, прикорневая пневмония.

Больная М., 72 лет. Очаговый туберкулез правого легкого, осложненный экссудативным плевритом (рис. 5).

На этом же рисунке представлен увеличенный фрагмент рассматриваемого снимка. Мелкие мягкие очаги с нечеткими контурами хорошо видны на фоне умеренного лимфангоита. Если очаги и были бы видны на аппаратах старшего поколения, то изменения в окружающей легочной ткани не удалось бы оце-



Рис. 4. Пневмония в области правого корня.

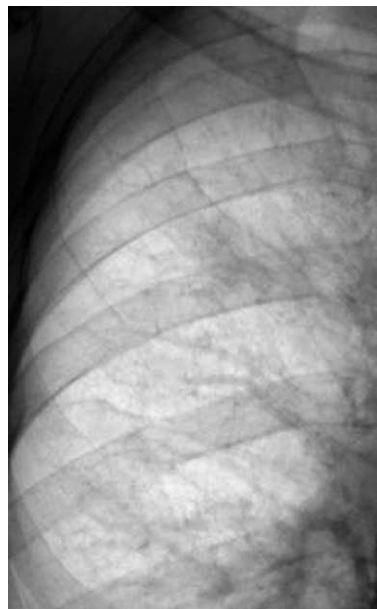
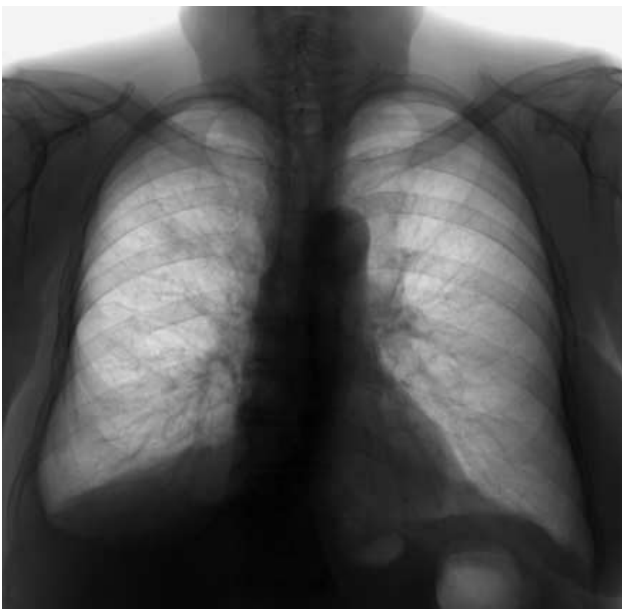


Рис. 5. Очаговый туберкулез правого легкого в фазе инфильтрации, экссудативный правосторонний плеврит.

нить с такой достоверностью. Профилактическая флюорограмма позволила выявить активный туберкулезный процесс.

У больного Ж., 73 г., имеются участки гиповентиляции в средних легочных полях, которые становятся особенно хорошо видны на глубоком вдохе, когда их наполненность воздухом отличается от окружающей легочной ткани (рис. 6). Диагноз при направлении в кабинет флюорографии – ХОБЛ. Изменения, на самом деле, минимальные, требующие высокой контрастной чувствительности для их обнаружения.

Выводы

Сопоставление данных, полученных при использовании тест-объекта CDRAD (type 2.0), при сравнении ошибок распознавания снимков, сделанных на разных системах, а также по результатам анализа конкретных клинических случаев, позволяет связать субъективную оценку качества изображения врачом-рентгенологом и экспертные оценки, получаемые при использовании соответствующего метрологического обеспечения.

Влияние на качество диагностики, помимо характеристик цифровой рентгенопреобразую-



На вдохе



На выдохе

Рис. 6. ХОБЛ. Участки гиповентиляции особенно заметны при глубоком вдохе.

шей системы, оказывают и характеристики монитора, поставляемого в комплекте с флюорографом. Уменьшение ошибок в определении типа флюорографа при замене монитора с электронно-вакуумной трубкой на жидкокристаллический можно, на наш взгляд, объяснить тем, что значительно быстрее наступает утомление при работе на вакуумном мониторе (несмотря на то что экспертные данные по разным типам мониторов с применением тест-объекта CDRAD существенно не отличаются), а также тем, что на жидкокристаллических мониторах с более высоким пространственным разрешением лучше просматривается легочный рисунок. Если лучше видны детали легочного рисунка, то, естественно, более заметна разница между нормой и патологией.

Цифровой снимок, получаемый при профилактической флюорографии, изначально должен быть информативен настолько, чтобы

в подавляющем большинстве случаев выявленной патологии не требовал ручной математической обработки. Если очаг можно увидеть на исходном снимке, то дальнейшая математическая обработка позволит только более детально его рассмотреть. Если очаг лишь “угадывается” из-за недостаточного качества флюорограммы, то скорее всего он может быть пропущен врачом.

Список литературы

1. Бердяков Г.И., Ртищева Г.М., Кокуев А.Н. Особенности построения и применения цифровых рентгенодиагностических аппаратов для исследования легких // Медицинская техника. 1998. № 5. С. 35–40.
2. Бердяков Г.И., Зеликман М.И., Ртищева Г.М. Оборудование для цифровой флюорографии: состояние и перспективы развития // Радиология – практика. 2000. Март. С. 24–28.
3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. Кн.1. М.: Мир, 1982. 312 с.