

УДК 616-073.75:681.31

Макиєнко А. С., Аверьянова Л. А., Старенький В. П.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АНТРОПОМОРФНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ФАНТОМОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РЕНТГЕНОГРАФИИ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

Проанализированы существующие подходы к обеспечению контроля качества рентгеновских изображений органов грудной клетки. Выявлены проблемы проверки качества рентгеновской визуализации анатомических структур грудной клетки, связанные с различиями технических условий рентгенографии. Единственным возможным путем решения этой проблемы является применение антропоморфных, тканеэквивалентных фантомов торса человека, позволяющих получить тестовую рентгенограмму, подобную снимку человека. Проведен обзор существующих антропоморфных фантомов и программный анализ параметров их рентгенограмм, которые могут быть применены для проверки технических характеристик рентгеновских аппаратов с целью контроля качества получаемых рентгеновских снимков органов грудной клетки.

Ключевые слова: рентгенография грудной клетки, качество рентгеновских изображений, антропоморфный фантом, тканеэквивалентные материалы.

Постановка проблемы. Рентгенография органов грудной клетки (ОГК) является одним из самых распространенных видов рентгенографических исследований, позволяя врачам диагностировать различные заболевания легких и средостения. Ограничения возможностей или ухудшение эксплуатационных характеристик рентгеновских аппаратов приводит к снижению качества получаемых снимков, что приводит либо к диагностическим ошибкам, либо требует повторных исследований, в том числе – рентгеновской компьютерной томографии (КТ) [1]. В настоящее время в Украине осуществляется контроль качества рентгенографии с точки зрения оценки дозной нагрузки, однако применяемые при этом фантомы тела человека непригодны для оценки качества самих получаемых рентгеновских изображений.

Анализ последних исследований и публикаций. Для получения информативного рентгеновского изображения осуществляется выбор физических и технических условий облучения пациента, при этом определяются и эквивалентные дозы в органах и эффективная доза, полученная пациентом. Качество рентгеновских изображений можно определить с использованием фантомов, что позволит гарантировать результативность исследования, минимизируя неудачи при съемке и ошибки при диагностической оценке. Основным клиническим требованием, которое предъявляется к рентгенограммам, является информативность, напрямую связанная с пространственным разрешением изображения. К физическим параметрам изображения относят шум, контрастность, резкость и другие качественные характеристики. Например, изображения с малой или высокой контрастностью оценивают как некачественные и при этом можно потерять важную и полезную информацию [2]. Существует целый ряд требований, которые предъявляются к снимкам изображений ОГК: четкая визуализация сосудов, корней легких, контура сердца и диафрагмы, изображения сосудов до периферии легких, достаточная распознаваемость ретрокардиальной области и средостения, размер фокусного пятна не более 0,6/1 мм при прямой проекции и др. [2]. Для проверки всех этих параметров при рентгенографических исследованиях ОГК применяют антропоморфные фантомы.

Цель работы. Сравнительный анализ возможностей применения существующих рентгеновских фантомов, позволяющих оценить разрешающую способность рентгенограмм при визуализации рентгеноморфологической структуры ОГК.

Основной материал исследования. Рассмотрим наиболее известные антропоморфные фантомы, которые применяются в рентгенографии ОГК (рис.1), уделяя особое внимание визуализации структур легких: трахея и крупные бронхи, корни легких, легочные поля, плевра, доли легких/междольевые щели, реберно-диафрагмальные синусы, диафрагма, сердце, средостение, мягкие ткани, костный каркас.



PIXY



3D Sectional Torso Phantom, Model 600



Adult Human Torso Phantom for X-Ray and CT Imaging Training TPS-CT-A01



3 Dimension Torso Phantom, Model 602



Multipurpose Chest Phantom N1 Lungman

Рисунок 1– Антропоморфные фантомы для рентгенографии и КТ ОГК

Фантом **PIXY** был разработан для подготовки технологов-радиологов, позволяя размещать фантом в различных позициях для оценки визуализации. Легкие выполнены упрощенно, из пены с массовой плотностью надутых легких человека ($0,30 \text{ г/см}^3$). Они

Режим доступа: <http://sap.pstu.edu>

связаны с полостью рта и носа стволами бронхов и трахеи. Скелет производят с точной детализацией [3-5]. Морфологическая структура корней легких и легочной паренхимы точно не воспроизводится. Для тестирования детализации рентгенограмм фантом неприменим.

Фантом **3D Sectional Torso Phantom Model 600** разработан для медицинской визуализации и дозиметрии. Изготовлен из эпоксидных материалов, благодаря чему обеспечивается оптимальное моделирование тканей в диапазоне энергий от 40 кэВ до 20 МэВ, что соответствует энергиям диагностики и терапии. Особенностью данной модели является наличие анатомически точных внутренних органов и деление всего фантома на 20 секций. В данной модели фантома есть возможность размещать различные дозиметры [4]. Органы имеют плотности тканей реальных органов. Тканеимитирующий материал – эпоксидная резина. В части детализации легочных структур этот фантом также примитивен.

Фантом **Adult Human Torso Phantom** разработан на основании строения среднего стандартного человека и может применяться для исследований медицинских изображений и обучения основам радиологии при рентгенографии и компьютерной томографии. Кости выполнены из реалистичного запатентованного материала - эпоксидной смолы, армированной керамикой, мягкие ткани и органы - мягкой уретановой основы. Есть возможность вставки и удаления органов [3].

Фантом **3 Dimension Torso Phantom Model 602** является точной анатомической моделью мужского торса, которая выполнена из материалов, эквивалентных биологическим тканям. Благодаря наличию съемных органов предоставляется возможность удалять из фантома различные имитации внутренних органов по выбору. Имитирует физическую плотность и линейное затухание фактической ткани с точностью до 2 % в диапазоне энергий от 40кэВ до 20МэВ [2] и применяется для тренировок по рентгенографии. Известен также аналогичный фантом **Multipurpose Chest Phantom N1 Lungman**, а также фантомы в виде наборов плоских изображений или объемных структур, применяющиеся для виртуальных интроскопических систем [3-7].

На рис.2 представлены доступные цифровые рентгеновские изображения некоторых выше описанных фантомов, которые будут далее использованы для сравнения с рентгенограммой ОГК человека в норме.

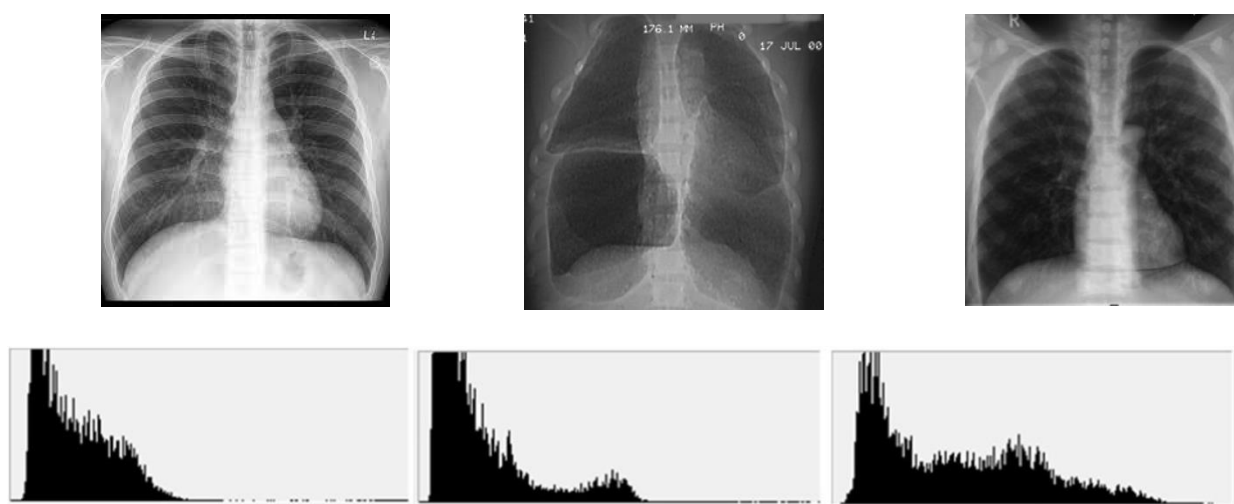
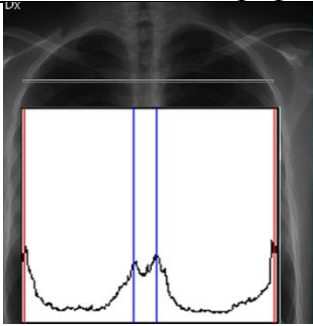
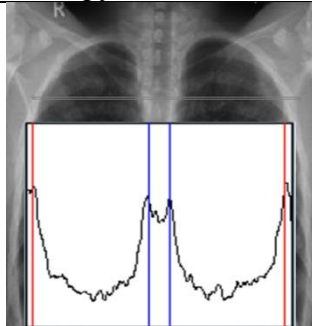
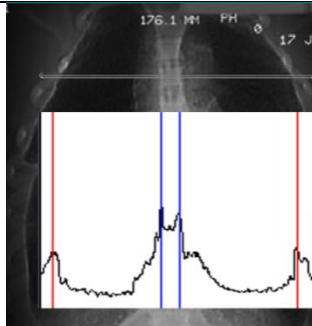
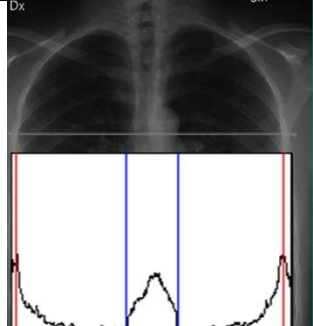
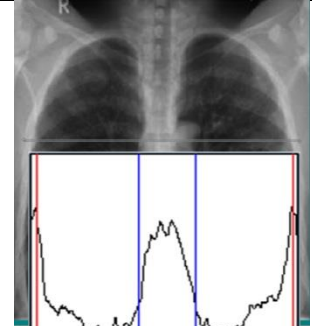
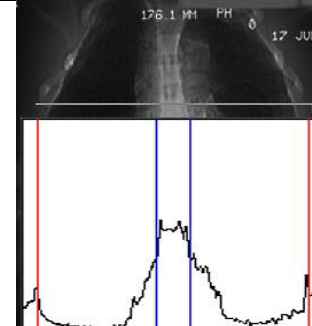
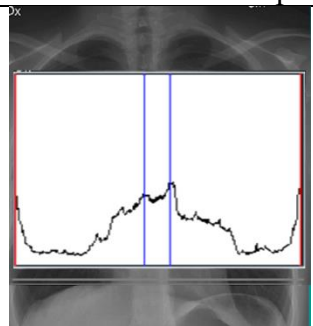
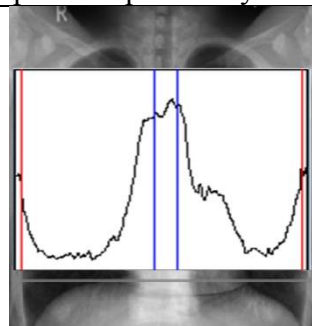
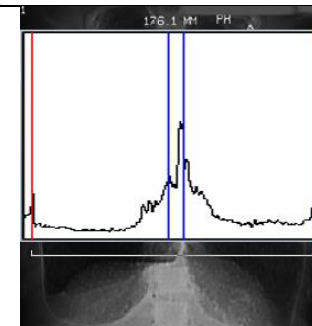


Рисунок 2 – Рентгенограммы и их гистограммы для фантомов 3 Dimension Torso Phantom Model 602 [4], Mutipurpose Chest Phantom N1 Lungman [6] и ОГК человека [7] соответственно

Сравнение гистограмм этих изображений указывает на большее подобие рентгенограммы Mutipurpose Chest Phantom N1 Lungman снимку ОГК человека. Сплошная гистограмма этих изображений указывает на большее морфологическое разнообразие визуализируемых тканей. В то же время рентгенограмма фантома 3 Dimension Torso Phantom Model 602 имеет гистограмму с признаком разделения двух областей, содержащих более и менее рентгенопрозрачные вещества фантома. Большинство градаций серого, отражающих мелкие структурные элементы, моделирующие легочной рисунок, и тени ребер спереди, на этой гистограмме практически отсутствуют.

Далее с целью проверки морфологического подобия структур на рентгенограммах (рис.2) были построены и программно проанализированы их профили яркости [7-10] на одинаковых уровнях (табл. 1).

Таблица 1 – Профили яркости рентгенограмм антропоморфных фантомов и ОГК человека

РентгенограммаОГК	Фантом Lungman	Фантом 3D TorsoModel 602
Профиль 1. Уровень грудинно-ключичного сочленения		
		
Профиль 2. Уровень Th5 (бифуркация трахеи)		
		
Профиль 3. Уровень правого купола диафрагмы		
		

Все изображения имели разрешение 200 dpi. К сожалению, снимки (рис. 2) выполнены не на одном рентгеновском аппарате и параметры экспозиции для них также сравнить затруднительно.

Однако, по соотношению яркостей профилей на уровнях 1 и 2 явно обнаруживается достаточное тканевое подобие фантома Mutipurpose Chest Phantom N1 Lungman соответствующим структурам реального снимка ОГК человека. Наиболее сложно установить подобие на уровне 3, однако и здесь наибольшее рентгеноморфологическое несоответствие демонстрирует фантом 3 Dimension Torso Phantom Model 602.

ВЫВОДЫ

Проведенный программный анализ параметров цифровых рентгенограмм антропоморфных фантомов и снимка ОГК человека показал, что с целью контроля качества рентгенограмм ОГК необходимо выбирать фантом, который не только моделирует строение грудной клетки человека и состоит из материалов, тканеэквивалентных по ослаблению излучения, но и детально воспроизводит структуру органов грудной клетки. Наиболее адекватный результат рентгеновской визуализации основных структур ОГК достигнут для фантома MutipurposeChestPhantom N1 Lungman. Дальнейшие исследования зависимости качества рентгеновской визуализации ОГК от режимов работы рентгеновской аппаратуры следует выполнять с применением этого фантома.

Список использованных источников:

1. Analyses of patient dose and image quality for chest digital radiography / H. Y. Tsai [et. al.] // Radiat. Meas. – 2010. – Vol. 45, N 36.
2. Медицинская рентгенология: технические аспекты, клинические материалы, радиационная безопасность / под ред. Р. В. Ставицкого. – М. : Норма, 2003. – 344 с.
3. E-Learning of Functioning Principles Medical Intrascope Systems / O. Avrunin, L. Aver'yanova, V. Golovenko, O. Sklyar // Modern (e-) Learning 2th International Conference (Varna, July 2007 y.). – Sofia, 2007. – P. 134–137.
4. Методика создания виртуальных средств имитации работы рентгеновского компьютерного томографа / О. Г. Аврунин [и др.] // Техническая электродинамика. – Киев, 2007. – Т. 5, тем. вып. – С. 105–110.
5. Аврунин, О. Г. Применение виртуальных тренажеров в лабораторном практикуме при дистанционном обучении / О. Г. Аврунин, Я. В. Носова // Проблеми теорії та практики дистанційної освіти в Україні : матеріали міжвуз. конф. – Харків : Харк. нац. ун-т буд-ва та архітектури, 2012. – С. 6–10.
6. Носова, Я. В. Использование информационных моделей при разработке виртуальных обучающих систем / Я. В. Носова // Медицинские приборы и технологии : междунар. сб. науч. тр. / ТулГУ. – Тула, 2013. – С. 23–25.
7. Носова, Я. В. Использование информационных моделей при разработке виртуальных интраскопических систем: Медицинские приборы и технологии: Международный сборник научных трудов / Я. В. Носова; под общ. ред. А.З. Гусейнова, В. В. Савельева. – Тула, 2013. – Вып. 5. – С. 162–164.
8. Построение персонализированной анатомической модели диафрагмы человека / В. Г. Дуденко, О. Г. Аврунин, М. И. Тымкович, В. В. Куринной // Експериментальна і клінічна медицина. – 2014. – № 2 (63). – С. 68–70.

9. Современные методы обучения в оториноларингологии / В. Ф. Філатов [та ін.] // Журнал вушних, носових і горлових хвороб. – 2001. – № 2. – С. 44–46.

10. The experience software-based design of virtual medical in trascopy systems for simulation study International Journal / O. Avrunin, L. Aver'yanova, V. Golovenko, O. Sklyar // Information Technologies and Knowledge. – 2008. – Vol. 2. – P. 470–474.

Макієнко А. С., Авер'янова Л. О., Старенький В. П.

МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ АНТРОПОМОРФНИХ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ФАНТОМІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ РЕНТГЕНОГРАФІЇ ОРГАНІВ ГРУДНОЇ КЛІТИНИ

Рентгенографія органів грудної клітини є одним з найпоширеніших видів рентгенографічних досліджень, що дозволяє виявити багато різноманітних патологій легень. При цьому масово застосовуються рентгенівські апарати, які мають дуже різні технічні можливості. Актуальним завданням є тестування режимів роботи різних рентгенівських апаратів з метою отримання якісних та інформативних рентгенограм. Зміна експлуатаційних характеристик рентгенівських апаратів призводить до зниження якості отриманих знімків, що призводить або до діагностичних помилок, або вимагає повторних досліджень, в тому числі - рентгенівської комп'ютерної томографії. Проаналізовано існуючі підходи до забезпечення контролю якості рентгенівських зображень органів грудної клітини. Виявлено проблеми перевірки якості рентгенівської візуалізації анатомічних структур грудної клітини, які пов'язані з відсутністю рентгеноанатомічного аналога людського тіла, а також з відмінностями технічних умов рентгенографії. Єдиним можливим шляхом вирішення цієї проблеми є застосування антропоморфних, тканиноеквівалентних фантомів торса людини, які можуть бути застосовані для перевірки технічних характеристик рентгенівських апаратів з метою контролю якості одержуваних рентгенівських знімків органів грудної клітини і дозволяють отримати тестову рентгенограму, подібну знімку людини. Проведено аналіз можливостей застосування існуючих антропоморфних фантомів з точки зору подібності одержуваних від них рентгенограм реальним знімкам грудної клітини людини. Проведено програмний аналіз параметрів рентгенограм фантомів з побудовою гістограм і профілів яскравості на обраних рівнях. Виявлено, що найбільш адекватний результат рентгенівської візуалізації основних структур грудної клітини досягнутий для фантома Mutipurpose Chest Phantom N1 Lungtap. Подальші дослідження залежності якості рентгенівської візуалізації органів грудної клітини від режимів роботи рентгенівської апаратури слід виконувати із застосуванням цього фантома.

Ключові слова: рентгенографія грудної клітини, якість рентгенівських зображень, антропоморфний фантом, тканиноеквівалентні матеріали.

Makienko A. S., Averyanova L. A., Starenkiy V. P.

POSSIBILITIES OF USING ANTHROPOMORPHIC X-RAY PHANTOMS FOR QUALITY CONTROL OF CHEST X-RAY

X-ray imaging of the chest is one of the most widely used types of X-ray examination and allow recognize many different pathologies of lungs. At the same time X-ray machines with very different technical capabilities are used anywhere within country. The actual task is to test the operating settings of various X-ray machines in order to obtain high-quality and informative X-ray

Режим доступу: <http://sap.pstu.edu>

images. Changing the performance of X-ray machines causes decreasing of quality of the obtained X-ray images, leading either to diagnostic errors, or requiring repeated research, including X-ray computed tomography. The existing approaches to ensuring the quality control of X-ray images of the chest organs are analyzed. The problems of check-up the quality of X-ray imaging of anatomical structures of the chest, which are associated with the absence of an X-ray anatomical analogue of the human body, as well as differences in the technical conditions of X-ray examinations, have been identified. The only possible solution of this problem is the use of anthropomorphic, tissue-equivalent human torso phantoms that can be used to check the technical characteristics of X-ray machines in order to control the quality of the obtained X-ray images of the chest. Only these special phantoms allow obtain a testing X-ray image similar to picture of a human body. The possibilities of the use of existing anthropomorphic phantoms from the point of view of the similarity of the obtained X-ray images of them to real images of the human chest are analyzed. The software analysis of parameters of the phantom radiographs with the construction of histograms and brightness profiles at selected levels is carried out. It has been found that the most adequate result of X-ray imaging of the basic structures of the chest is achieved for the phantom Mutipurpose Chest Phantom N1 Lungman. Subsequent studies of the quality of X-ray imaging of the chest organs which depend of the operating settings of X-ray equipment should be performed with the use of this phantom.

Keywords: chest X-ray, x-ray image quality, anthropomorphic phantom, tissue-equivalent materials.

Статья поступила 14.02.2019 р.

Рецензент: проф., д-р техн. наук Аврунин О. Г.